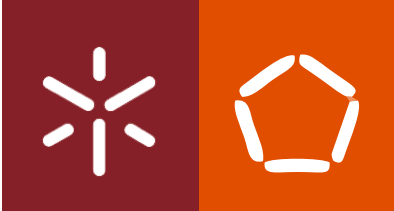




Marta Sofia Fernandes Rodrigues

Caracterização de filme PP Cast em Extrusão Monocamada e Coextrusão

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Marta Sofia Fernandes Rodrigues

Caracterização de filme PP Cast em Extrusão Monocamada e Coextrusão

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação de

José António Covas

Ricardo Domingues

Outubro de 2016



DECLARAÇÃO

Nome: Marta Sofia Fernandes Rodrigues

Endereço eletrónico: marta_sofia_r@hotmail.com

Telefone: 912788805

Número do Cartão do Cidadão: 14297053

Título da dissertação: Caracterização de filme PP Cast em extrusão Monocamada e Coextrusão

Orientadores:

Professor Catedrático José António Colaço Gomes Covas

Engenheiro Ricardo Alexandre Araújo Domingues

Ano de conclusão: 2016

Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros.

DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO.

Universidade do Minho, ____/____/____

Assinatura:



AGRADECIMENTOS

Este trabalho só foi possível realizar com o apoio e participação de algumas pessoas. Desta forma desejo manifestar a minha inteira gratidão a todos aqueles que me possibilitaram concretizar esta dissertação, nomeadamente:

Em primeiro lugar queria agradecer á Dra. Ana Carla e ao Dr. Pedro Figueiredo por me ter dado a oportunidade de realizar esta dissertação na Plastirso.

Gostaria também de agradecer aos meus orientadores Professor José Covas, exemplo de dedicação e competência, por todos os ensinamentos e em especial pela paciência demonstrada.

Agradeço ao Eng. Ricardo Domingues por toda a disponibilidade, paciência e apoio proporcionados desde sempre.

Agradeço também a todos os funcionários da empresa Plastirso por toda a disponibilidade dispensada e bom ambiente de trabalho que me proporcionaram durante o estágio. Queria agradecer em especial aos operadores que trabalharam comigo diariamente e sempre se prontificaram a ajudar-me em tudo o que era possível.

Por fim, não poderia deixar de agradecer à minha família e em especialmente ao meu namorado Pedro Lobo, por me ter apoiado e ajudado nesta fase da minha vida.

A todos, um bem-haja



RESUMO

Este trabalho ocorreu num ambiente industrial, envolvendo a produção de filmes extrudidos em Polipropileno que serão produzidos pela empresa Plastirso, SA.

O processo de coextrusão consiste no processamento de materiais poliméricos de forma simultânea, combinando, de forma cumulativa, as propriedades dos materiais constituintes, o que é possível se não se promover a mistura entre os materiais processados. Este processo, quando aplicado com uma fiação/cabeça de extrusão é capaz de agrupar os diferentes materiais, pois permite a obtenção de produtos difíceis ou até impossíveis de produzir de outra forma. Quando comparado com as alternativas de processamento, regra geral, este tipo de processamento é economicamente vantajoso.

A embalagem alimentar tem sido particularmente beneficiada com o desenvolvimento da coextrusão, uma vez que é possível desenvolver filmes/folhas complexos. As especificações dos produtos podem ser aumentadas e/ou diminuídas ao nível do custo, dado que a utilização de um polímero de elevado desempenho (e preço) pode, agora, ser substituída pela combinação de diversos polímeros que, no seu todo, satisfazem as especificações.

Esta dissertação tem como principal objetivo produzir e caracterizar filmes para embalagens. Os filmes serão caracterizados em extrusão Monocamada e Coextrusão com espessuras entre 25 e 80 μm . Para proceder à caracterização do filme PP cast foram recolhidas amostras produzidas em extrusão monocamada e tricamada. Os resultados obtidos foram analisados e discutidos tendo em consideração a influência das diferentes espessuras analisadas nas propriedades estudadas, como nas diferentes linhas de extrusão em questão.

Foi possível observar que o aumento da espessura do filme provoca uma menor resistência mecânica quer na direção da máquina, quer na direção transversal.. O coeficiente de atrito apresenta um ligeiro acréscimo com o aumento da espessura dos filmes, embora este não seja muito acentuado. No que toca às extrusoras, o coeficiente de atrito é maior no caso dos filmes produzidos por Coextrusão. Relativamente às propriedades mecânicas os filmes produzidos em Coextrusão apresentam maiores valores de Tensão de Rotura e Tensão Máxima, comparativamente com os filmes produzidos em monocamada.

Palavras-Chave: Coextrusão, filme, propriedades mecânicas, polipropileno



ABSTRACT

This work occurred in an industrial environment, involving the production of Polypropylene films that will be produced by the Plastirso SA.

The processing of polymers by co-extrusion, allows the combination of polymeric materials by simultaneously, combining, cumulatively, the properties of the constituent materials, which is possible if there is no mixing between the processed materials. This process, when applied with a nozzle/extrusion head, is able to combine different materials, since it allows to obtain difficult products or otherwise impossible to produce. When compared with alternative processing, generally, this type of processing is economically advantageous.

Food packaging has been particularly benefited from the development of co-extrusion, since it is possible to develop complex films/sheets. The specifications of the products may be increased and/or decreased in cost, since the use of a high performance polymer (and price) can now be replaced by the combination of different polymers which, as a whole meet the specifications.

The objective of this study on packaging, being that they will be characterized in extrusion of film cast, mono and trilayer, with thicknesses between 25 and 80 μm . To make the characterization of the PP film cast, samples were taken produced in extrusion monolayer and trilayer. The results were analyzed and discussed, having in consideration the influence of the different thicknesses studied in the analyzed properties, such as different lines in the extrusion in question.

It was possible to observe that with an increase in film thickness leads to a lower mechanical strength both in the machine direction and the transverse direction. The friction coefficient shows a slight increase when increasing the film thickness, although this is not very sharp. With regard to the surface properties extruders, it was found that the change in friction coefficient over time is greater in the case of trilayer films produced by extrusion. In relation to mechanical properties of the films produced in trilayer exhibit higher values of Tension Rupture and Maximum tension compared to films produced in monolayer. Furthermore, it is not apparent the Elongation at Break.

Keywords : coextrusion, film, mechanical properties , polypropylene



ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas	xvii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	XVIII
Capítulo 1 – Introdução	19
1.1 Enquadramento	20
1.2 Objetivos.....	21
1.3 Conteúdo da dissertação	21
Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica	23
2.1 Extrusão de filme cast.....	24
2.2) Matéria-prima.....	28
2.2.2) Aditivos	30
2.3) Extrusão vs Coextrusão.....	32
2.4 Fenómenos pós extrusão	35
Capítulo 3 – Procedimento Experimental.....	41
3.1. Matéria-prima	42
3.2. Processamento.....	43
3.3. Caracterização – Estiramento do Material	50
3.4. Caracterização – Propriedades dos Filmes	51
3.3.1. Gramagem	51
3.3.2 Coeficiente de Atrito.....	51
3.3.3. Resistência á Tração.....	52
3.3. 4. Retração.....	52
3.3.5. Hot Tack.....	53
3.3.6. Turbidez	54
3.3.7. Resistência da Soldadura	55



4 – Apresentação e discussão de Resultados	59
4.1. Influência do Estiramento na Gramagem.....	61
4.1.1. Gramagem	61
4.1.2. Propriedades Mecânicas	62
4.2. Caracterização e análise das amostras obtidas nas diferentes espessuras e extrusoras em Homopolímero.....	65
4.2.1. Coeficiente de atrito	65
4.1.2. Resistência à tração.....	66
4.2.3. Retração.....	68
4.2.4. Hot Tack.....	70
4.2.5. Turbidez	71
4.2.6. Resistência da Soldadura	72
4.3. Caracterização e análise das amostras obtidas nas diferentes espessuras e extrusoras em Copolímero.....	73
4.3.1. Coeficiente de atrito	73
4.3.2. Resistência à tração.....	74
4.3.3. Retração.....	77
4.3.4. Hot Tack.....	78
4.3.5. Turbidez	79
4.3.6. Resistência da Soldadura	80
Capítulo 5 – Conclusões.....	81
Bibliografia	84
Anexo I – Fichas Técnicas.....	86
Anexo 1.1. ISPLEN® PP 064 S1F	86
Anexo 1.2 – ISPLEN® PP 264 S1F.....	87
Anexo 1.3 – ISPLEN® PP 264 M1F	88
Anexo II - Dados Relativos ao Processamento	89
Anexo III– Dados Relativos ao Estiramento na Gramagem	92
Anexo IV – Dados Relativos do Estiramento nas Propriedades Mecânicas	94
Anexo V – Dados Relativos ao Coeficiente de Atrito.....	96



Anexo VI – Dados Relativos às Propriedades Mecânicas	97
Anexo VII – Dados relativos á Retração.....	100
Anexo VIII – Dados relativos ao Hot Tack.....	101
Anexo IX – Dados relativos à Turbidez.....	102
Anexo X- Dados relativos à Resistência á Soldadura.....	103



LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática de uma linha de extrusão de filme plano;.....	24
Figura 2: Ilustração do movimento do bailarino (1-direção de extrusão; 2-movimento oscilatório);	26
Figura 3: Esquematização do Tratamento Corona;	26
Figura 4: Exemplificação de um rolo tipo banana;	27
Figura 5: Representação de Bobines;	28
Figura 6: Polimerização do Polipropileno;	29
Figura 7: Visualização da zona de alimentação da coextrusora:	33
Figura 8: Coextrusão com as diferentes secções de aquecimento;	34
Figura 9: Encapsulamento de materiais devido á diferença de viscosidades;	34
Figura 10: Representação do fenómeno Inchamento;	35
Figura 11: Representação do fenómeno neck-in;	37
Figura 12: Representação da influência do Chill Roll na espessura, Propriedades Mecânicas e Propriedades Óticas;.....	39
Figura 13: Evolução da Velocidade Linear de Puxo para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas para o PPH.....	43
Figura 14: Evolução da Velocidade Linear de Puxo para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas para o PPC.....	44
Figura 15: Evolução das Temperaturas utilizadas no Chill Roll para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas para o PPH	47
Figura 16: Temperaturas utilizadas no Chill Roll para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas para o PPC;.....	47
Figura 17: Evolução do Débito registrado para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas para o PPH.	48
Figura 18: Débito registrado para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas para o PPC;	48
Figura 19: Representação dos fenómenos inchamento e neck-in na extrusora monocamada e tricamada, respetivamente;.....	49
Figura 20: Representação do corte efetuado para a execução dos ensaios para a extrusora monocamada;	50



Figura 21: Esquerda - Tipo de provete e solda testada; Direita - Posicionamento do provete na máquina de tração. [26]	56
Figura 22: Representação das falhas do provete. a) Destaque da Soldadura; b) Falha coesiva do material; c) Rotura na camada selada (Delaminação); d) Falha de adesão da selagem (corresponde a uma má soldadura); e) Rotura de material indiferente á soldadura; f) Alongamento do material; [26]	57
Figura 23: Resultados obtidos á Gramagem na direção transversal do material nos diferentes materiais para a coextrusora;	61
Figura 24: Resultados obtidos á Gramagem na direção transversal do material nos diferentes materiais para a extrusora monocamada;	61
Figura 25: Resultados obtidos á Resistência á Tração nos diferentes materiais para a coextrusora;	62
Figura 26: Resultados obtidos á Resistência á Tração nos diferentes materiais para a extrusora monocamada;	62
Figura 27: Resultados obtidos do Alongamento á Rotura nos diferentes materiais para a Coextrusora;	63
Figura 28: Resultados obtidos do Alongamento á Rotura nos diferentes materiais para a extrusora Monocamada;	64
Figura 29: Resultados obtidos do COF para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPH;	65
Figura 30: Resultados obtidos á Tensão de Rotura para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPH;	66
Figura 31: Resultados obtidos á Tensão Máxima para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPH;	67
Figura 32: Resultados obtidos ao Alongamento da Rotura para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPH;	68
Figura 33: Resultados obtidos á Retração para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPH;	69
Figura 34: Resultados obtidos do Hot Tack para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPH;	70
Figura 35: Resultados obtidos da Turbidez para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPH;	71
Figura 36: Resultados obtidos da Resistência da Soldadura para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPH;	72



Figura 37: Resultados obtidos do COF para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPC;	73
Figura 38: Resultados obtidos da Tensão de Ruptura para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPC;	74
Figura 39: Resultados obtidos da Tensão Máxima para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPC;	75
Figura 40: Resultados obtidos do Alongamento à Ruptura para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPC;	76
Figura 41: Resultados obtidos da Retração para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPC;	77
Figura 42: Resultados obtidos do Hot Tack para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPC;	78
Figura 43: Resultados obtidos da Turbidez para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPC;	79
Figura 44: Resultados obtidos da Resistência à Tração para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPC;	80



LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros das duas extrusoras em estudo;	43
Tabela 2: Velocidade linear de rotação registrados para o PPC em ambas as extrusoras;	44
Tabela 3: Velocidade linear de rotação registrados para o PPC em ambas as extrusoras;	46
Tabela 4: Visualização das Temperaturas de Soldadura a que foram realizados os ensaios.	56



LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

PP- Polipropileno

PPH – Polipropileno Homopolímero

PPC – Polipropileno Copolímero

DL – Direção Longitudinal

DT – Direção Transversal

COF - Coeficiente de Atrito

Re- Razão de Estiramento

Vpuxo – Velocidade linear de puxo (m/min)

Vlinear – Velocidade linear de extrusão (m/min)

Q – Débito (Kg/h)

L – Largura (m)

E – espessura (μm)

LT – Lado Tratado

LST – Lado sem Tratamento



CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO



1.1 Enquadramento

Os produtos plásticos tornaram-se parte essencial do nosso estilo de vida moderno dada a versatilidade de aplicação e facilidade na produção de artigos. Devido a este facto, tem se verificado um aumento significativo da competição nesta cadeia, em várias indústrias. Sendo assim, hoje em dia, são levadas a cabo estratégias de marketing que visam implementar, nas próprias embalagens, características de distinção e diferenciação com vista a atrair cada vez mais consumidores para determinado produto.

Esta nova dinâmica promocional exige às empresas uma maior eficácia nos seus processos produtivos de modo a conseguirem ser competitivas num mercado que se tem tornado cada vez mais exigente. Torna-se, porquanto, importante o estabelecimento de determinados padrões de qualidade para o produto final, pois só assim o cliente poderá encontrar com facilidade uma solução de baixo custo e eficaz para o seu problema.

No conjunto das soluções que existem uma das que se destaca é o processo de coextrusão que consiste no processamento simultâneo de, pelo menos, dois materiais em outras tantas extrusoras (ou de um mesmo material com adituações distintas), que são enformados numa única cabeça de extrusão. Com base neste processo produzem-se produtos multi-camada, sendo possível, através dele, salvaguardar a existência de camadas paralelas de materiais distintos, segundo a espessura da parede. Da mesma forma evita-se a preparação de um novo material a partir da mistura dos componentes. Esta tecnologia possibilita assim o aumento das especificações dos produtos e/ou a diminuição do seu custo, uma vez que a utilização de um polímero de elevado desempenho (e preço) pode agora ser substituída pela combinação de diversos polímeros que, no seu todo, satisfazem as especificações (e baixam o custo, pois os polímeros mais caros são agora aplicados em menores quantidades). [2]

Uma das principais funções de uma embalagem é o assegurar da qualidade do produto e a sua conservação, por isso é compreensível que o setor das embalagens seja cada vez mais competitivo como o esforço de produção de novos materiais com propriedades melhoradas. Da mesma forma, se compreende o acréscimo de estudos de âmbito científico que tem vindo a ser realizados nos últimos anos. Uma e outra razão convergem para a necessidade da melhoria das propriedades da embalagem



e da otimização do seu desempenho, o que tende a levar em conta as condições de processamento e a escolha mais acertada dos materiais a processar.

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem como principal objetivo produzir e caracterizar filmes para embalagens. Os filmes serão produzidos por Extrusão Monocamada e Coextrusão entre espessuras entre 25 e 80 μm .

Numa primeira abordagem, será efetuado um estudo sobre o estiramento do material de modo a verificar se é influenciável nas propriedades do material. De seguida, será efetuada uma comparação entre os filmes em mono e tricamada, de forma a perceber qual o material mais indicado para uma determinada função.

1.3 Conteúdo da dissertação

No capítulo 1 é apresentado o enquadramento do trabalho, seguido dos objetivos do mesmo.

No capítulo 2 faz-se uma revisão bibliográfica, considerando conceitos relativos à extrusão e à coextrusão de filmes.

De seguida, no capítulo 3 são expostas as variáveis que ocorreram durante o processamento das diferentes extrusoras estudadas. Faz-se inicialmente uma apresentação aos materiais utilizados no estudo e são apresentadas as técnicas utilizadas para a caracterização dos filmes.

A apresentação e discussão de resultados é a componente do capítulo seguinte onde o destaque assenta num pequeno estudo acerca da influência do estiramento nas propriedades mecânicas e, por fim, a apresentação dos resultados obtidos nas diferentes propriedades estudadas.

No Capítulo 6 são apresentadas sucintamente as principais conclusões do trabalho realizado.



CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA



2.1 Extrusão de filme cast

Uma linha de extrusão de filme plano pode ser dividida em seis setores fundamentais: alimentação e reciclagem; extrusão; formação do filme e arrefecimento; tratamento; corte e bobinagem. A figura 1 permite ter uma ideia de alguns componentes que constituem a linha e cuja função será explicada de seguida.

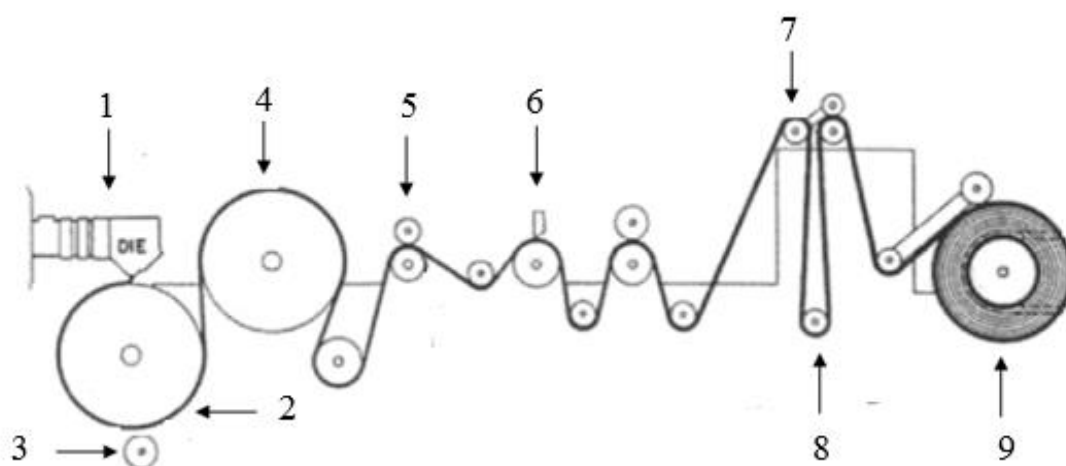


Figura 1: Representação esquemática de uma linha de extrusão de filme plano; 1 – Extrusora; 2 – Primeiro rolo de Arrefecimento (Chill Roll); 3 – Caixa de vácuo e faca de ar; 4 – Rolo de Limpeza; 5 – Segundo Rolo de Arrefecimento (Hot Roll); 6 – Leitor de Espessuras; 7 – Tratamento; 8 – Bailarino; 9- Zona de Corte; 10 – Bobinagem; [3]

A extrusora é responsável pela fusão e mistura do material polimérico que é inserido na tremonha, assegurando o seu bombeamento para a fiação, que pode assumir formas muito complexas de acordo com o produto pretendido. Alcançando o estado estacionário, a extrusora é capaz de manter a temperatura e débito estáveis durante todo o processamento.

A secção da extrusão é constituída por uma extrusora monofuso cujo objetivo é ser capaz de bombear o material ao longo do cilindro, recorrendo à geometria do fuso, de forma a obter-se um produto homogéneo, não só em termos de temperatura, mas também em termos de mistura, garantindo que este vai passar pela fiação a débito constante, e de preferência o mais alto possível. Garantir que a extrusão é uniforme nos diversos aspetos, é talvez o maior desafio para os operadores. Acrescida a essa dificuldade, o facto de se misturar material virgem na forma de grãos, com material reciclado na forma



de flocos, obriga a um jogo de temperaturas junto às zonas de alimentação de ambos, devido às diferentes temperaturas de fusão dos materiais. No final da zona de extrusão, o fundido é tipicamente filtrado através de placas de malhas de aço, que não permitem a passagem de impurezas, assim como algum material que não esteja fundido, designado na gíria por infundidos, que deixam marcas no filme, sendo muitas vezes pontos frágeis que podem levar ao rasgamento do produto final durante a sua aplicação.

Logo após a fieira, o material entra em contacto com o primeiro rolo de arrefecimento. Designado de Chill Roll, este rolo de arrefecimento, tem como principal objetivo o arrefecimento do filme. A correta adesão ao Chill Roll é garantida por dispositivos denominados por facas de ar, que sopram ar forçando o filme na direção da superfície do rolo. O filme, ainda nesta fase, passa por um rolo de limpeza, cuja principal função, tal como o nome indica, é a limpeza das impurezas do filme. Logo á saída da fieira existem os fixa bordas, que ajudam na fixação do filme ao Chill Roll, através de uma descarga elétrica ao longo do filme. Sem este componente o filme não aguentaria a velocidade de rotação do rolo metálico e enrolar-se-ia ao rolo de limpeza, ou então rompia

Após esta primeira fase do processo, o material passa pelo segundo rolo de arrefecimento, cujo nome é Hot Roll. Este encontra-se a uma temperatura superior à do primeiro rolo.. Este rolo tem como principal função transportar o filme, mas também retirar algumas impurezas dado a sua geometria.

A partir deste rolo até à etapa final de bobinagem o filme vai passar por uma série de cilindros metálicos que visam garantir a sua orientação e promovem uma melhor retenção de impurezas. Além disso, estes rolos estão sujeitos a uma temperatura controlada.

Logo depois do Hot Roll, está posicionado um leitor de espessuras através do qual se estabelece a medida do perfil de espessura ao longo da largura do filme, permitindo ao operador perceber se é necessário ajustar os lábios da fieira. No caso da produção de filmes é praticamente impossível garantir uma uniformidade de espessuras ao longo de toda a largura. Para tal impõe-se um limite de 5 microns de tolerância. Com recurso a um componente, designado por bailarino, a variação de espessuras é uniformizada. O bailarino não é mais do que um sistema mecânico que faz um movimento (ver figura 9), com determinada amplitude que permite balançar o filme de forma a evitar os defeitos em termos de distribuição de espessura. Ao mesmo tempo que o filme avança nos rolos na direção da extrusão (direção



1 da figura 2), este vai ter um movimento oscilatório (direção 2 da figura 2), que balança o filme, otimizando o processo de bobinagem

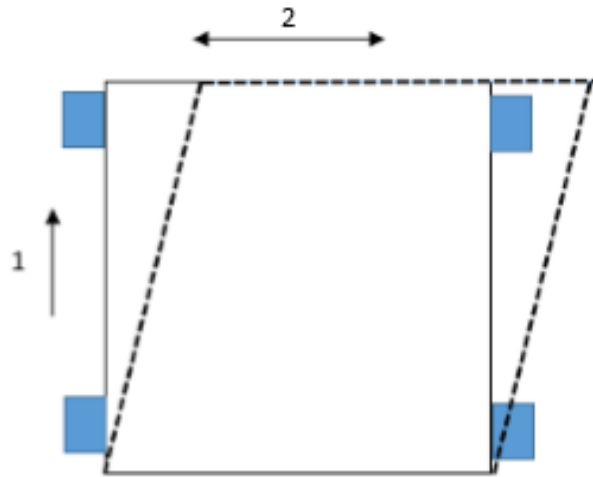


Figura 2: Ilustração do movimento do bailarino (1-direção de extrusão; 2-movimento oscilatório);

A etapa de tratamento é necessária devido à não polaridade das poliolefinas e se não for "tratado" as tintas de impressão e adesivos não vão aderir à sua superfície. O processo usado para o tratamento do filme é o tratamento Corona, que consiste em passar o filme sobre um rolo, submetido a uma descarga elétrica, de modo a oxidar a superfície fazendo com que os gases presentes entre o eletrodo e o filme se ionizem. O processo é obtido pela passagem do filme sobre um cilindro de metal aterrado, coberto por um dielétrico para assegurar a uniformidade da descarga, como se pode ver na figura 3.

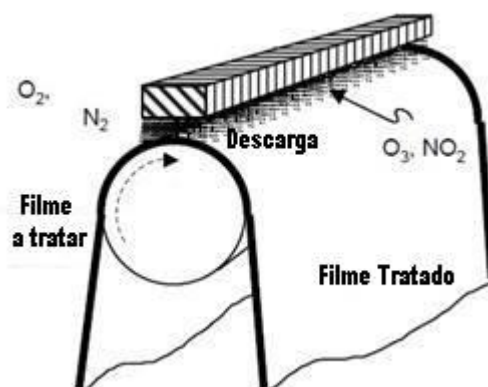


Figura 3: Esquematização do Tratamento Corona; [4]



Na fase seguinte, o corte, o processo mais usual caracteriza-se pela existência de uma lâmina num suporte, o que permite ao operador ajustar a posição da lâmina consoante a largura da bobina pretendida. Para que as bobinas tenham a largura pretendida, o tamanho da apara não é uniforme devido ao movimento do bailarino.

Antes da fase final de bobinagem, o filme passa por um cilindro com uma geometria específica, em forma de banana, que otimiza a fase de bobinagem, permitindo que o filme não fique “amarrotado”. Na figura seguinte encontra-se esquematizado um exemplo de um rolo banana.



Figura 4: Exemplificação de um rolo tipo banana; [5]

A fase de bobinagem, apesar de ser a última, não deixa de ser uma das mais importantes. O filme é enrolado sobre um cilindro de papel, que é suportado por um veio metálico. Este cilindro de papel é preso através de um sistema pneumático que salienta umas pequenas superfícies que impedem que estes deslizem quando a bobina está a enrolar. Os cilindros de papel são também ajustados consoante a largura das bobinas e preparados rigorosamente antes da bobina anterior estar completa. Assim que se obtém o diâmetro pretendido da bobina um sistema automático permite trocar rapidamente os veios sem que para isso seja necessário proceder à interrupção do funcionamento da máquina.

Nesta etapa a tensão de bobinagem, que resulta da diferença de velocidades entre o veio que enrola e os cilindros que fazem avançar o filme ao longo da linha, é determinante para se obter uma bobina considerada conforme (Figura 5b)). Tipicamente, a não conformidade de uma bobina resulta de uma tensão de bobinagem imprópria. Uma tensão de bobinagem baixa, ao retirar o filme do veio metálico, vai fazer com que este deslize, deixando assim a bobina de estar alinhada (Figura 5a). Este acontecimento dificulta os processos de corte e impressão. No caso da tensão de bobinagem ser muito elevada, a bobina vai ganhar calo, ou seja, deformações à superfície, que vão gerar pontos fracos na



soldadura, podendo ainda ser responsáveis pelo aparecimento de bloqueios na fase de impressão e corte.

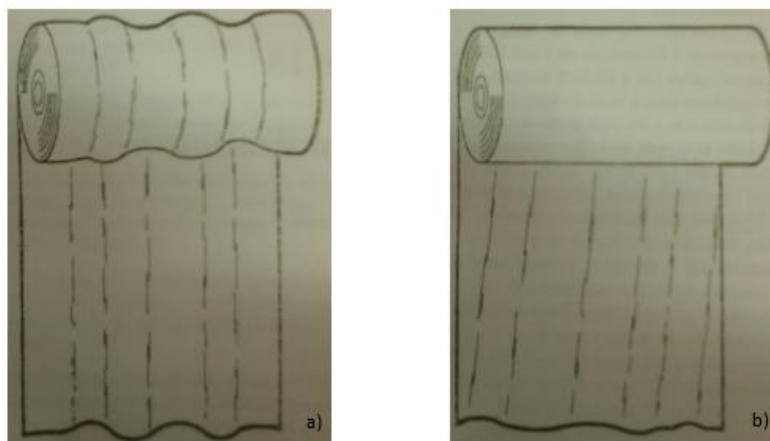


Figura 5: Representação de Bobines; 5a) Bobine com excesso de tensão de bobinagem; 5b) Bobine com baixa tensão de bobinagem; [6]

2.2) Matéria-prima

O polipropileno (PP) é um dos termoplásticos cujo volume de utilização mais cresce atualmente no mundo.

Entre as inúmeras propriedades deste material, podemos destacar a sua baixa densidade na ordem dos 0,905 g/cm³, sendo uma das mais baixas entre todos os materiais plásticos disponíveis comercialmente.

Apresenta elevada rigidez, superior à da maioria dos plásticos comerciais, e uma boa resistência ao impacto à temperatura ambiente para todos os tipos de polipropileno. Tem uma elevada resistência à flexão, tornando-o adequado a aplicações em dobradiças integrais e elevada resistência química, não sendo atacado pela grande maioria de produtos químicos à temperatura ambiente. Podemos dizer que quase não absorve água e tem baixa permeabilidade ao vapor de água. Apresenta uma baixíssima condutividade elétrica e uma elevada temperatura de transição vítrea.



Uma das principais desvantagens já referidas é a fragilidade ao impacto a baixas temperaturas do PP homopolímero. Para contrariar este facto usa-se PP copolímero ou adicionam-se fibras de vidro para aumentar a resistência ao impacto.

A reação química que dá origem ao polipropileno é a polimerização por adição, uma vez que o polímero é formado pela repetição do mesmo tipo de monómero, o propeno de fórmula molecular C₃H₆ (gás à temperatura ambiente) mas, que sobre altas temperaturas e pressões e com o auxílio de um catalisador, inicia a polimerização. Neste processo estabelecem-se ligações covalentes entre os monómeros, facto que leva à formação de macromoléculas de polipropileno que podem conter milhares de monómeros. [7]

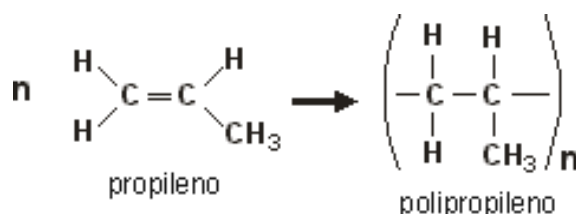


Figura 6: Polimerização do Polipropileno; [8]

Existem dois tipos de polipropileno: o homopolímero e copolímero (copolímero alternado ou copolímero de blocos). Estes três tipos de polipropileno podem ser modificados através do uso de aditivos.

O polipropileno copolímero obtém-se da polimerização do propileno com etileno enquanto, que no caso do copolímero aleatório a copolimerização com etileno é feita de forma a dificultar a cristalização do material, conseguindo-se aumentar não só a resistência ao impacto, mas também a transparência e o brilho dos produtos. O polipropileno é encontrado como um polímero semi cristalino, ou seja, apresenta uma combinação de zonas amorfas, onde as cadeias macromoleculares são desordenadas e zonas cristalinas onde as cadeias poliméricas são organizadas. [8]



2.2.2) Aditivos

Os aditivos são importantes para melhorar os produtos de plásticos como as suas especificações. A adição de aditivos ajuda a processar o material a temperaturas mais elevadas e diminuir a migração sem perturbar a aparência e o custo econômico. Os aditivos são utilizados para conferir uma variedade de funcionalidades.

Diferentes tipos de aditivos são adicionados a um polímero durante a composição para conferir as propriedades desejadas sem alterar a arquitetura molecular do polímero de base.

Os aditivos são misturados com o material plástico de base e a formulação pode ser feita sob medida ou concebida de acordo com a exigência das propriedades. Eles estão disponíveis em diferentes tipos para diferentes aplicações. Os aditivos podem aumentar as propriedades existentes de uma forma eficiente para controlar a estrutural físico-mecânico e propriedades reológicas de plásticos.[9]

- Anti bloqueio

Os filmes de plásticos possuem superfícies viscosas que exercem um elevado coeficiente de atrito. Bloqueio é um fenómeno de adesão de duas camadas como folhas colocadas umas em cima das outras.

Durante as operações de pós-processamento em filmes de plástico, é essencial reduzir o coeficiente de atrito para o manuseamento de filmes. O anti bloqueio é utilizado para superar o coeficiente de atrito sendo essencial para a aderência das superfícies de coeficientes de atrito elevados dos materiais plásticos e o desenvolvimento de eletricidade estática. Contudo, este aditivo não dissipa a eletricidade estática da superfície dos filmes.

O anti bloqueio migra para a superfície após a solidificação do filme modificando as propriedades de superfície do filme. Estes aditivos são geralmente usados com agentes slip.



- Anti estático

A maioria dos Polímeros são isolantes elétricos que têm tendência a acumular cargas estáticas que atraem e retêm partículas de sujidade e pó, diminuindo a capacidade de adesão devido à resistência da superfície do filme.

Estes aditivos tem como principal função evitar a acumulação de cargas elétricas na superfície do produto. Portanto, estes tendem a adquirir uma forte mudança electroestática que pode causar problemas e avarias no funcionamento dos dispositivos eletrónicos podendo haver também um perigo de combustão.

Estes aditivos tem como principal função reduzir ou eliminar as propriedades elétricas, reduzindo a resistência superficial do material plástico. Estes são usados especialmente para eliminar, reduzir e dissipar a eletricidade estática e prevenir como evitar a acumulação de eletricidade estática.

- Slip

Os polímeros em geral exibem um elevado coeficiente de atrito e, por conseguinte, aderem a si próprios ou com o equipamento de processamento. O polipropileno têm, geralmente, uma superfície lisa, com exceção de defeitos de superfície ou estruturas cristalinas. Quando o Polipropileno não contém quaisquer aditivos tem um coeficiente de atrito elevado e contém uma baixa energia de superfície e forças de atrito baixas. Em relação à sua resistência, estes podem causar danos nos filmes. [10]

Estes aditivos minimizam a tendência dos filmes de plástico deslizarem umas sobre as outras quando é indesejável. Os aditivos Slip modificam as propriedades de superfície para reduzir as forças de atrito entre os filmes e as outras superfícies que entram em contacto com o material fundido. Assim pequenas quantidades de aditivos slip são introduzidos de modo a diminuir as forças de atrito criando uma camada lubrificante na superfície do produto. [11]

Um dos requisitos de um agente de deslizamento é este seja miscível com o polímero. O agente de deslizamento deve formar uma camada muito fina sobre a superfície, sendo mais eficaz se depositado de forma aleatória.



O seu modo de ação começa com a migração do aditivo para a superfície e quando o polímero arrefece forma-se uma camada de lubrificante sólido à superfície, permitindo assim, reduzir o atrito ou diminuir a aderência entre as superfícies em contacto do polímero.

Estes aditivos migram para a superfície do filme após a extrusão e a disposição da camada fina torna possível a obtenção das características desejadas. Uma quantidade considerável de aditivo migra para a superfície na primeira hora; normalmente a conclusão da migração e do nível de equilíbrio de deslizamento atingiu cerca de 24 horas após a extrusão. No entanto, existem alguns fatores que podem alterar a taxa de migração e o tempo necessário para atingir o equilíbrio do coeficiente de equilíbrio. Alguns exemplos são a temperatura ambiente, formulação filme e tensão enrolamento.

Esta camada de aditivo tem um efeito inibidor sobre o severo tratamento de coroa e, por essa razão, o tratamento deve ser realizado em linha quando muito menos aditivo está presente na superfície. Os elevados níveis de aditivo podem ter outros efeitos prejudiciais, ou seja, a necessidade de tratamento adicional de energia, a má capacidade de impressão e de selagem térmica inferior. [10]

2.3) Extrusão vs Coextrusão

Em termos de equipamento de processamento, as principais diferenças nas linhas de extrusão encontram-se na zona de alimentação e na formação do filme.

Uma das diferenças mais visíveis entre as duas linhas de extrusão são as suas dimensões. No caso da Coextrusão esta é constituída por três andares e neles podem-se encontrar os silos que alimentam as extrusoras. No caso da Plastirso, (empresa onde levamos a cabo o ensaio prático que apresentaremos na segunda parte do presente estudo), visto que o filme produzido por Coextrusão apresenta três camadas, encontram-se três extrusoras. Aliás a grande diferença nesta etapa é mesmo em termos de dimensões já que o processo em si, de alimentação das extrusoras, é praticamente semelhante. Na figura expõe-se a coextrusora identificada com os respetivos silos.



Figura 7: Visualização da zona de alimentação da coextrusão:

Em termos de processamento, a diferença maior entre a coextrusão e a extrusão monocamada encontra-se na fieira, dado que esta tem de ser capaz de receber o fundido de três extrusoras diferentes de forma eficaz e transformar diferentes materiais num único produto final (Figura 7). A fieira contém um adaptador constituído por uma série de segmentos, que correspondem ao número de camadas do filme. As camadas seguem separadas até à zona final da fieira, onde, devido à temperatura a que se encontram e às características geométricas, se vão unir numa só película formando um produto final uniforme. [12]

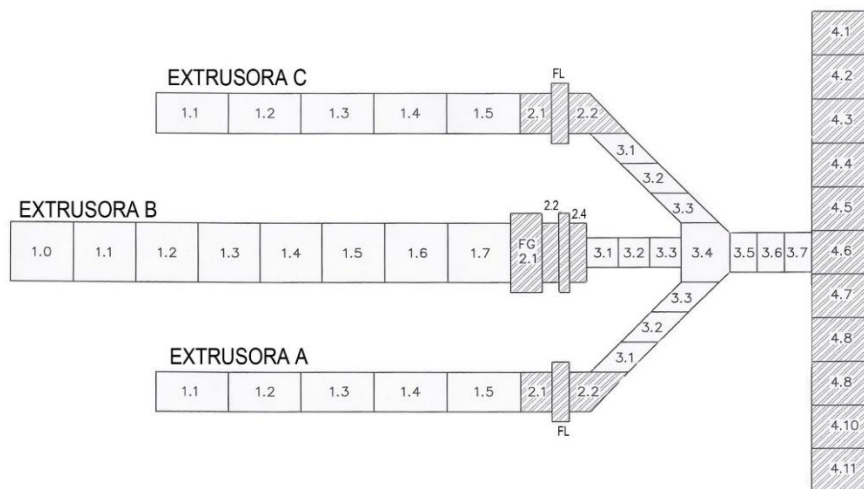


Figura 8: Coextrusão com as diferentes secções de aquecimento;

Neste tipo de processamento é fundamental ter em atenção a viscosidade dos materiais, por forma a evitar a ocorrência de vários problemas, entre os quais, a não uniformidade da espessura das camadas do filme. Um material menos viscoso pode encapsular um material mais viscoso (Figura 8), sendo que se exige um ajuste de temperaturas e pressões, considerando sempre as alterações nas propriedades dos materiais. [13]

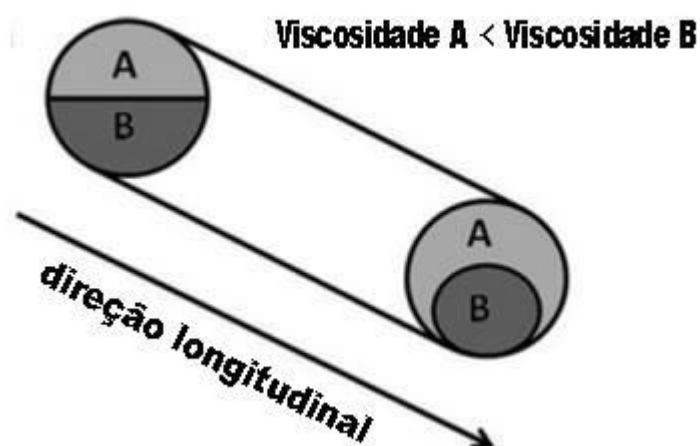


Figura 9: Encapsulamento de materiais devido à diferença de viscosidades; [13]



2.4 Fenómenos pós extrusão

O comportamento reológico dos polímeros e os fenómenos físicos que ocorrem no interior da cabeça de extrusão condicionam as características finais dos produtos obtidos. Para além destas condicionantes existe um outro conjunto de fenómenos que também podem influenciar as propriedades finais dos produtos e estes podem acontecer na fase posterior à extrusão. Após a extrusão ocorre o inchamento e este, geralmente, é devido à relaxação de tensões à saída da fiação, motivada pela relaxação do material e em especial devido à recuperação das deformações elásticas originadas durante o escoamento do fundido ao longo da cabeça de extrusão. Como resultado, o extrudido sofre deformações que levam à alteração das suas dimensões e secção transversal, Figura 9. Uma vez que há conservação da massa, e considerando que o material é incompressível, a este aumento de secção está associada uma redução da velocidade do extrudido.

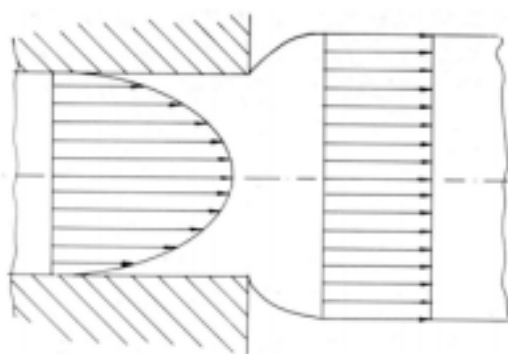


Figura 10: Representação do fenómeno Inchamento; [14]

À saída da cabeça de extrusão, podem ainda tornar-se evidentes fenómenos como a “pele de tubarão” e a fratura do fundido, entre outros, cujo controlo se reveste de grande importância para a qualidade final dos extrudidos.

Outra das situações a que o filme é sujeito decorre da necessidade de aplicação de uma força de puxo sobre o extrudido. Assim que emerge da fiação o fundido deixa de estar submetido à pressão do escoamento e tende a parar. Para assegurar a continuidade do processo o filme é “puxado” por um



sistema de puxo, geralmente colocado na parte final da linha de extrusão (bobinagem). Devido ao inchamento o perfil fica sujeito a um estiramento na direcção longitudinal. As moléculas sofrem orientação ao longo da cabeça de extrusão devido às deformações provocadas pelo fluxo do material, como foi anteriormente comentado. Contudo, grande parte da orientação conseguida é libertada assim que o material emerge da fieira e se dá o seu inchamento.

. Geralmente a fase de estiramento do extrudido coincide com o início do arrefecimento (Chill Roll) e a consequente diminuição da temperatura do material, o que leva ao “congelamento” das estruturas formadas neste ponto do processo, condicionando fortemente a morfologia final obtida.

Como resultado deste estiramento, o polímero fundido é submetido a uma área de fluxo predominantemente elongacional na região entre a fieira e o Chill Roll, chamado região de vácuo (air jet region). O Chill Roll gira a uma velocidade superior à velocidade do extrudido à saída da fieira ocasionando um alongamento. [15]

A figura 10, apresenta a redução da largura do filme (neck-in) e da espessura. O objetivo desta etapa consiste em solidificar o fundido em contacto com o Chill Roll, garantindo assim a geometria e dimensões pretendidas [16].

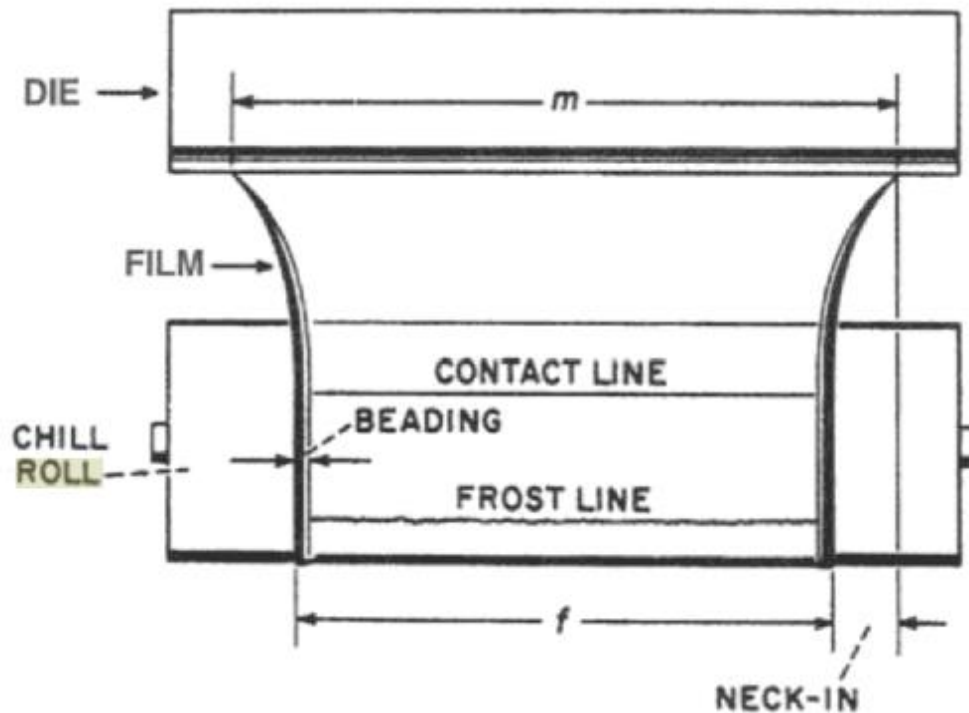


Figura 11: Representação do fenómeno neck-in; [17]

Quando o filme chega à fase de corte todo o material deve estar abaixo da temperatura de solidificação [18]. O processo de solidificação deve estar completo uma vez que o extrudido abandona a etapa de arrefecimento. No entanto, podem ocorrer alterações dimensionais posteriores nas etapas de armazenamento e/ou serviço, devido ao envelhecimento dos polímeros amorfos ou à cristalização pós-processamento no caso de alguns polímeros semi cristalinos [19].



2.4 Inter-relação entre processamento, morfologia e propriedades

O estado físico dos polímeros pode ser líquido (total amorfismo ou ausência de cristalinidade) ou sólido (parcialmente cristalino). A cristalinidade é afetada por diversas variáveis do polímero. O tamanho e percentagem de cristalinidade depende da velocidade de cristalização de cada polímero e da velocidade com que se formam os núcleos, para além da mobilidade das moléculas e das condições de arrefecimento. O PP pode ser obtido quase amorfo por um processo em que o arrefecimento é rápido, ou pode ser obtido até 60% de cristalinidade se o arrefecimento se processar de forma muito lenta. [20]

No estado fundido, todas as cadeias poliméricas estão desorganizadas (amorfas), e necessitam de tempo para se organizarem em regiões ordenadas (cristalinas). Por isso, um polímero arrefecido lentamente (do estado líquido ao estado sólido) será mais cristalino do que um polímero arrefecido rapidamente.

Com o aumento da cristalinidade, as forças intermoleculares entre as cadeias poliméricas são mais intensas. Portanto, um Polipropileno com elevado grau de cristalinidade apresenta uma resistência mecânica maior, mas a sua capacidade de alongamento diminui. Tal fenómeno ocorre porque, numa fase inicial, as lamelas começam a alinhar-se na direção da força aplicada, acabando por se romper.

Do ponto de vista térmico, as propriedades são afetadas pelo grau de cristalinidade de forma significativa, motivando a utilização dos materiais sob determinadas temperaturas. A cristalinidade é alterada com o aumento da temperatura, nas proximidades de T_m (temperatura de fusão), e com isso o módulo, a rigidez, a resistência à tração e a dureza diminuem.

Quanto às propriedades óticas as regiões amorfas são transparentes. Já as regiões cristalinas são translúcidos opacos ou transparentes dependendo do grau de cristalinidade, do tamanho das cristalites e da posição relativa entre eles.

O alinhamento e orientação das cadeias irá facilitar a formação de estruturas cristalinas e, consequentemente aumentar a cristalinidade do material. Assim, a rigidez e a resistência aumentam no sentido da orientação e diminuem no sentido perpendicular ao estiramento, isto porque, a orientação incrementa o número de cadeias alinhadas no sentido do estiramento. [21]



O grau de cristalinidade dos filmes é dependente da razão de arrefecimento. A temperatura do Chill Roll é controlada de acordo com os requisitos do polímero e da aplicação. Em geral, quanto maior a temperatura Chill Roll, maior o grau de cristalinidade. Quanto menor a temperatura Chill Roll, mais pequenos os cristais se formam. Isso resulta em filmes com maior transparência, brilho e tenacidade, mas com rigidez reduzida (Figura 11). Por outro lado, as propriedades de atrito em função do tempo são melhoradas com temperaturas mais elevadas do Chill Roll.

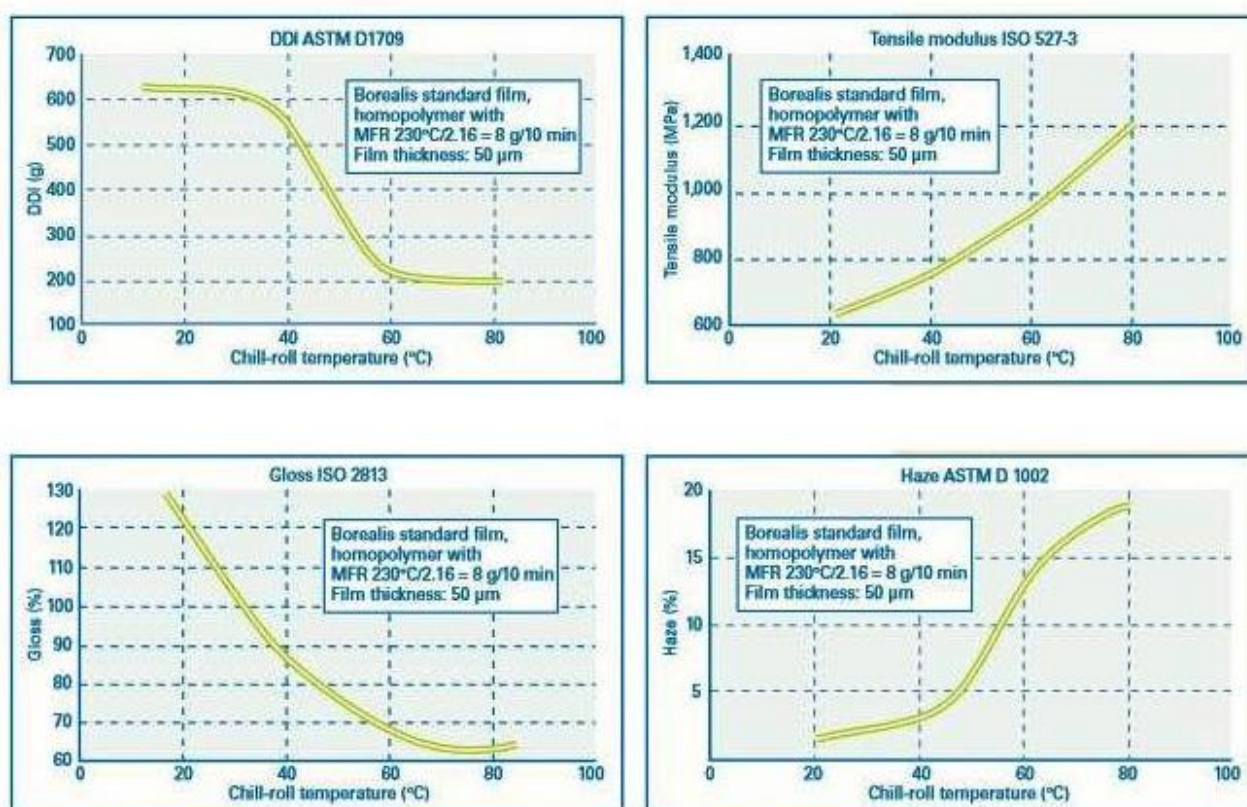


Figura 12: Representação da influência do Chill Roll na espessura, Propriedades Mecânicas e Propriedades Óticas; [22]





CAPÍTULO 3 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL



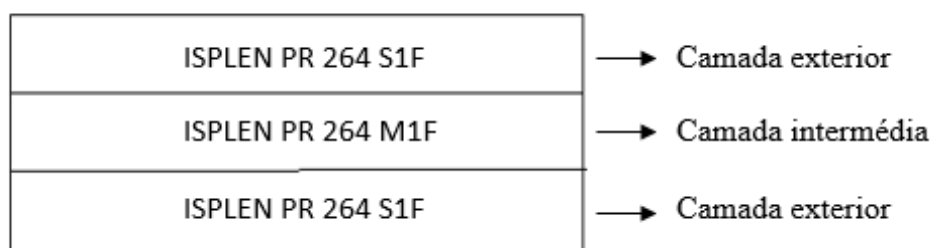
O presente capítulo está subdividido em três secções principais. Na primeira (3.1) são apresentados os materiais utilizados. Na segunda (2.2) descreve-se o processamento utilizado na linha de extrusão e a última secção (2.3) engloba a descrição dos procedimentos de caracterização utilizados.

3.1. Matéria-prima

Os dois materiais seleccionados para o estudo, que possuem diferentes características e morfologias, foram os seguintes (viscosidade para ambos os materiais de 9 Pa.s):

- ✓ Polipropileno Homopolímero (ISPLEN PP 064 S1F);*
- ✓ Polipropileno Copolímero (ISPLEN PR 264 S1F e ISPLEN PR 264 M1F).*

No caso do Polipropileno Copolímero são utilizadas as duas matérias-primas na coextrusora mas apenas o ISPLEN PR 264 S1F na extrusora monocamada. As três camadas encontram-se da seguinte forma:



Estes materiais utilizados nas duas extrusoras encontram-se aditivados com *slip*, *anti blocking* e anti estático (exceto para o ISPLEN PR 264 S1F).

As fichas técnicas encontram-se no anexo I.



3.2. Processamento

Entre as extrusoras verificou-se que existem parâmetros de processamento diferentes. Para além, dos parâmetros alterados para cada amostra, apresentados de seguida, as extrusoras apresentam as seguintes condições operatórias:

Tabela 1: Parâmetros das duas extrusoras em estudo;

Extrusoras	Temperatura de Processamento (°C) (Extr. A/B/C)	Chill Roll 2 (°C)	Tratamento (V)
Monocamada	240	60	9
Coextrusora	240 /190 /240	45	12

Para cada amostra foram alterados a velocidade de rotação do fuso, velocidade linear de puxo e a Temperatura do Chill Roll (Anexos II e Anexo III). Nas figuras 12 e 13 encontra-se a variação da espessura com a velocidade linear de puxo.

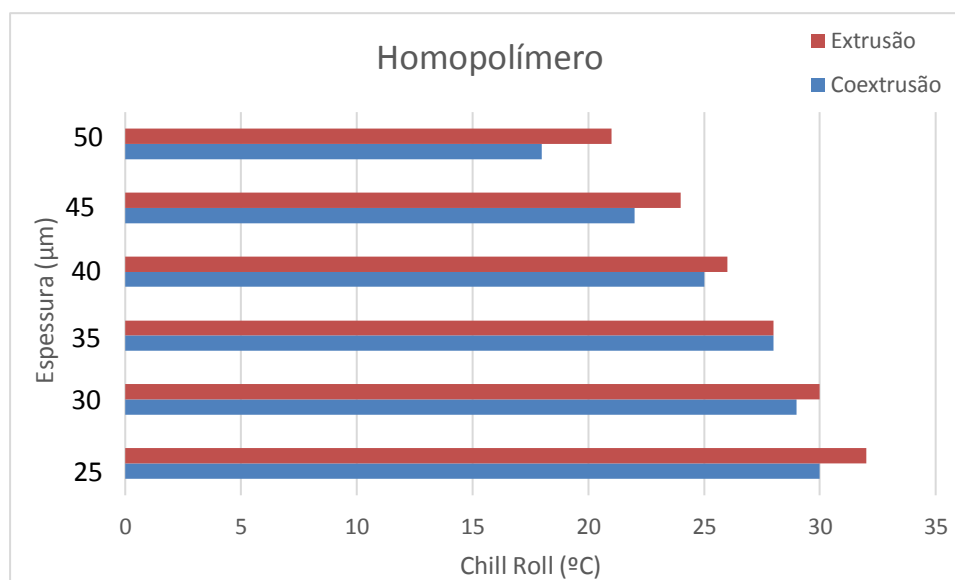


Figura 13: Evolução da Velocidade Linear de Puxo para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas para o PPH.

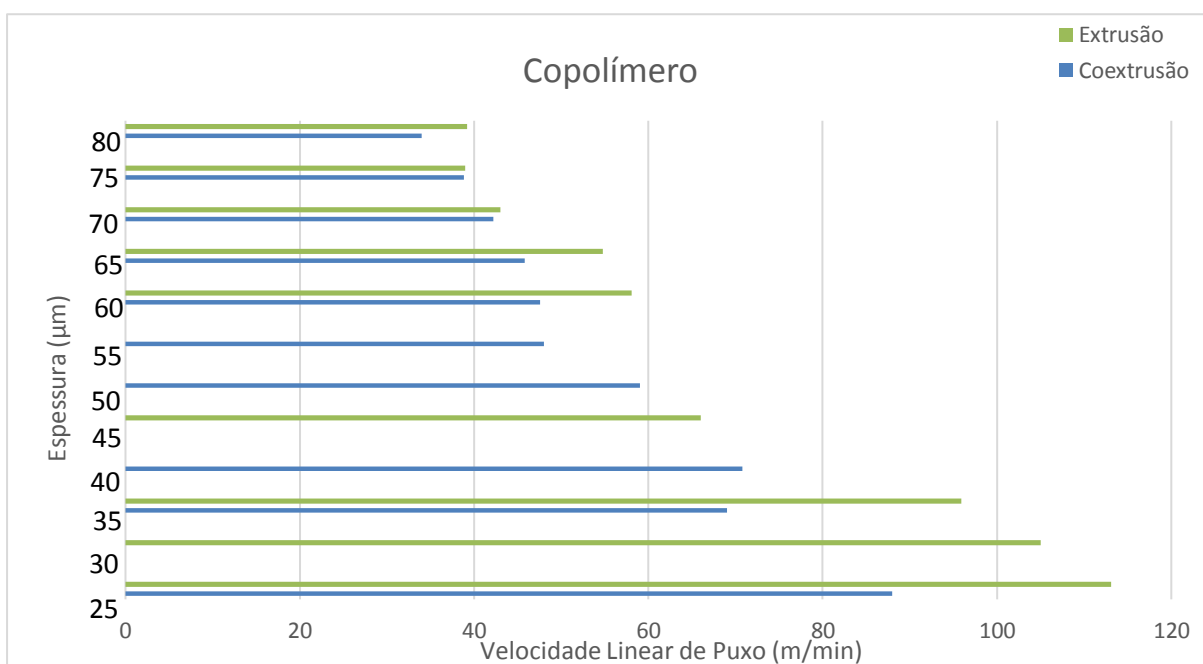


Figura 14: Evolução da Velocidade Linear de Puxo para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas para o PPC.

Relativamente ao Copolímero em ambas as extrusoras registou-se a ocorrência duma dificuldade na recolha das amostras. O problema está associado ao facto de serem sempre produzidos com PPC os filmes com espessuras superiores a 50 microns, visto que o homopolímero se torna muito rígido e baço para estas espessuras superiores e, por isso, torna difícil o ajuste dos parâmetros e a bobinagem do filme. Porém, para valores abaixo dos 50 μm no PPC, nem todas as gamas são produzidas em ambas as extrusoras em PPC. Por esta razão não foi possível retirar amostras de todas as espessuras entre 25 μm a 80 μm no PPC.

Através das figuras anteriores, verifica-se que com uma velocidade de puxo menor o filme fica mais espesso. Isto ocorre porque para uma maior espessura o material não necessita de um maior estiramento.



No caso da velocidade de Rotação do Fuso, na Coextrusão, é necessário ter em conta a velocidade de rotação de cada uma das extrusoras e a distribuição de espessura nas três camadas existentes. Quanto à extrusão monocamada, como o nome indica, apenas são apresentados os valores relativos a uma extrusora.

Tabela 2: Velocidade de rotação do fuso registrados para o PPC;

	Monocamada	Coextrusão	
Espessuras (μm)	Velocidade de Rotação do Fuso (rpm)	Velocidade de Rotação do Fuso (Extr. A/B/C)	Distribuição entre espessuras (%)
25	96	74.7/31.3/75.3	$\pm 24/60/24$
30	–	54.6/34.3/75.3	$\pm 24/63/24$
35	100	94.7/41/95.1	$\pm 24/62/24$
40	90	–	–
45	–	70/35.1/70.4	$\pm 24/63/24$
50	100	–	–
55	106	–	–
60	106	101.8/40.1/100.4	$\pm 22/62/22$
65	106	89.8/42.1/90	$\pm 21/62/21$
70	101	69.1/37.1/69.3	$\pm 20/60/20$
75	101		$\pm 21/62/21$
80	110	101.8/39.1/100.3	$\pm 24/59/24$



Tabela 3: Velocidade de Rotação do fuso registrados para o PPH;

	Monocamada	Coextrusão	
	Velocidade linear de Rotação (rpm)	Velocidade linear de rotação (Extr. A/B/C)	Distribuição entre camadas (%)
25	85	65/37/65.4	± 21/62/21
30	101	79/32/79.2	± 21/62/21
35	98	63.9/41.1/64.1	± 22/62/22
40	107	58/36.1/58	± 21/61/21
45	107	55/35.1/55.3	± 24/50/24
50	97	62.5/34/63.3	± 24/50/24

Como se pode verificar à medida que a velocidade de rotação do fuso aumenta, a espessura também aumenta. Este é um facto esperado. Apesar disso registam-se algumas discrepâncias, decorrentes da maior largura do filme. Além disso, verifica-se que na Coextrusora o material não apresenta muitas diferenças na distribuição das camadas, não comprometendo a percentagem de aditivos incorporados na segunda camada (camada aditivada).

No caso do Chill Roll (Figuras 14 e 15), constatou-se que, quanto maior a temperatura do Chill Roll menor é a espessura do material. Uma das razões para justificar o aumento de temperatura é o favorecimento do deslizamento. Relativamente a uma espessura maior, utiliza-se uma temperatura inferior, isto, porque com uma temperatura superior o material não conseguiria obter a Temperatura de solidificação necessário de modo a que o processamento ocorra de forma uniforme

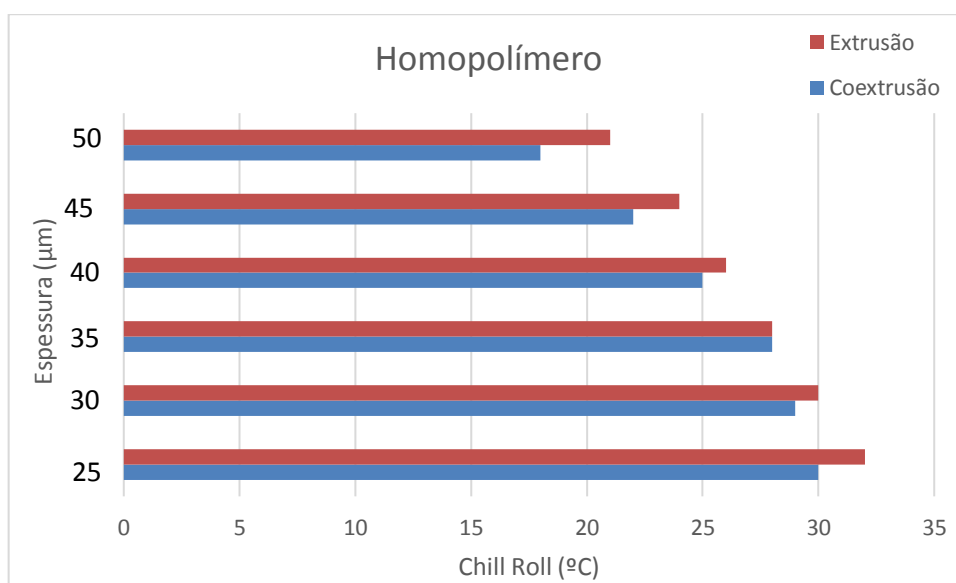


Figura 15: Evolução das Temperaturas utilizadas no Chill Roll para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas para o PPH

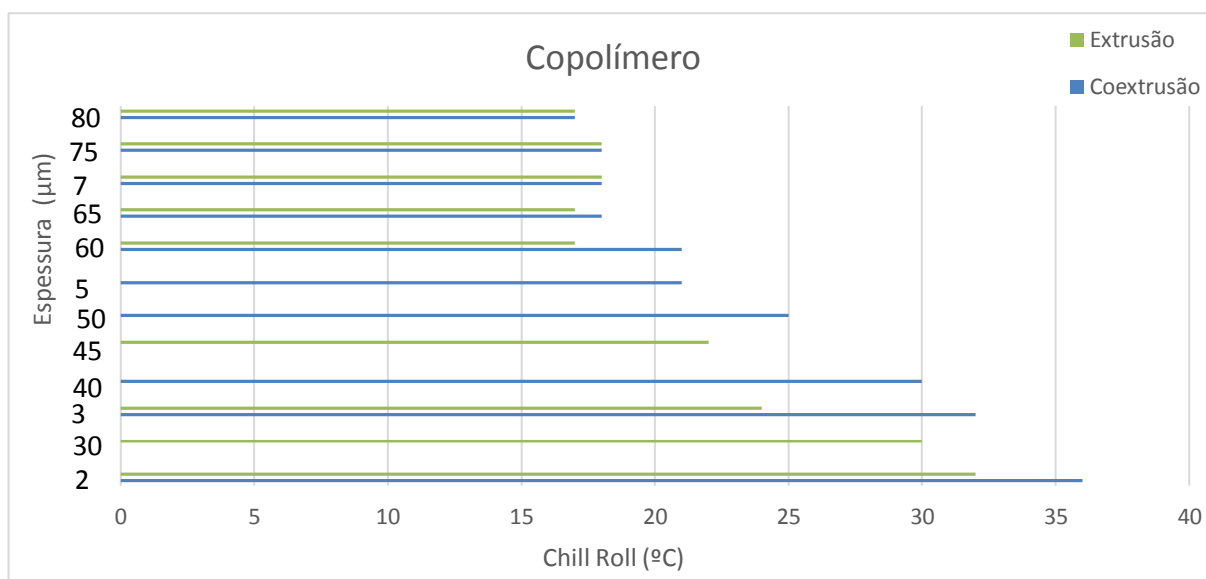


Figura 16: Temperaturas utilizadas no Chill Roll para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas para o PPC;

O débito mássico é calculado no pressuposto que a dimensões do filme, largura, não oscilam em cada extrusora. A densidade de ambos os materiais é de 9.0 g/cm^3 . A variável velocidade dos rolos de puxo encontram-se citadas anteriormente, Tabelas 2 e 3.



$$Q \text{ (kg/h)} = V_{\text{rolo puxo}} \text{ (cm/min)} \times L \text{ (cm)} \times e \text{ (cm)} \times \rho_{\text{PP}} \text{ (kg/cm}^3\text{)} \times 60 \quad (1)$$

Com o auxílio dos gráficos que se seguem (Figura 16/17) observa-se que o débito na coextrusora é superior ao débito na extrusão Monocamada. Estes resultados apresentados de seguida foram calculados de acordo com a equação anterior.

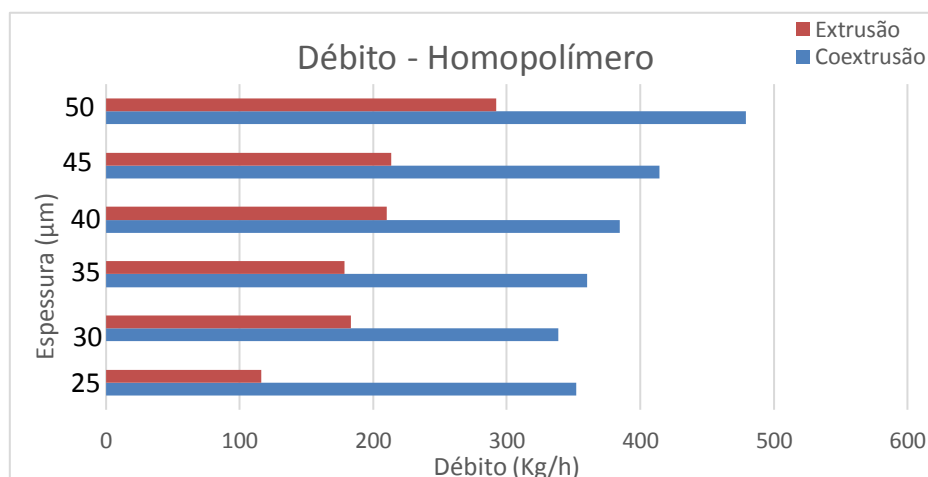


Figura 17: Débito registrado para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas para o PPC;

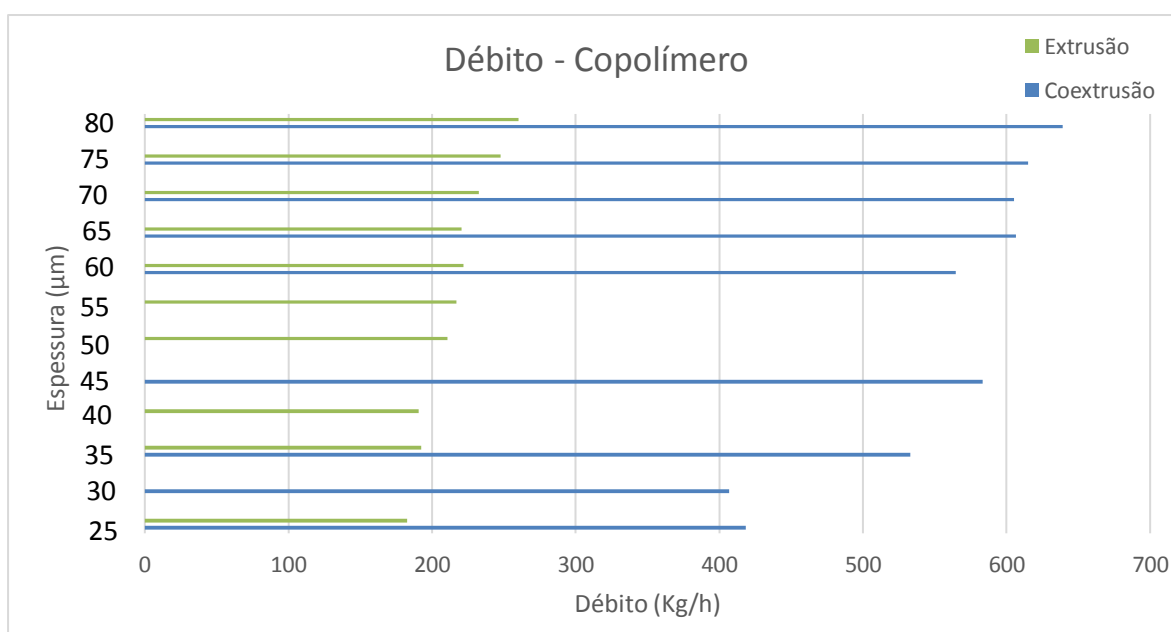


Figura 18: Evolução do Débito registrado para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas para o PPH.

A razão de estiramento afeta a quantidade de neck-in, de redução da espessura do filme e a orientação molecular obtida na região de vácuo.



$$Re = \frac{v_{puxo}}{v_{linear}} \quad (2)$$

As diferentes espessuras requerem que se ajuste as condições de processamento, sendo necessário alterar a velocidade de rotação do fuso e/ou dos rolos de puxo, de modo a manter a espessura do filme desejada. Para isso, a razão de estiramento é um parâmetro que será difícil manter constante em todas as espessuras.

Relativamente ao conjunto de fenómenos que estão numa fase posterior à extrusão, nomeadamente o inchamento e o neck-in, verifica-se que na coextrusão é mais influenciada por estes fenómenos do que na extrusão (Figura 18).

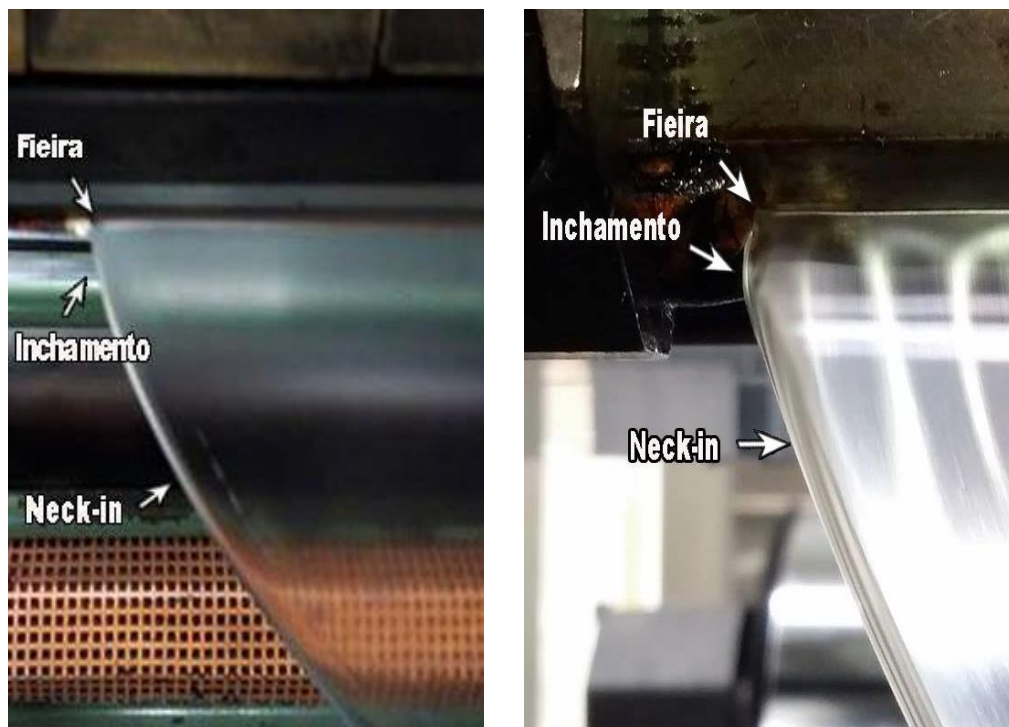


Figura 19: Representação dos fenómenos inchamento e neck-in na extrusão monocamada e coextrusão, respetivamente;



3.3. Caracterização – Estiramento do Material

No processo de extrusão de filme cast predomina naturalmente a orientação no sentido longitudinal. Assim, como outros polímeros, o PP pode ter as propriedades melhoradas quando se orientam as cadeias moleculares no sentido da solicitação. Orientar um polímero significa alinhar suas cadeias macromoleculares numa direção.

Um dos objetivos desta seção, é verificar se durante o fenómeno neck in, o material fica sujeito a um estiramento suficiente que seja influenciável nas propriedades do material. Como já referido, durante o neck-in o material fica sujeito a uma maior orientação proveniente deste estiramento. Além disso, durante este fenómeno o material pode ficar sujeito a alterações na espessura que podem não ser corrigidas totalmente durante o processamento.

Para cada extrusora e respetivo material (PPC e PPH) foram retiradas duas amostras com diferentes espessuras (espessuras mais produzidas na Plastirso para cada material e para cada espessura). Em cada amostra foram cortados provetes em sete zonas para a extrusora monocamada ao longo da direção transversa (Figura 19), como se ilustra na figura seguinte. No caso da coextrusora foram cortadas nove zonas, uma vez que se trata de uma maior largura do filme

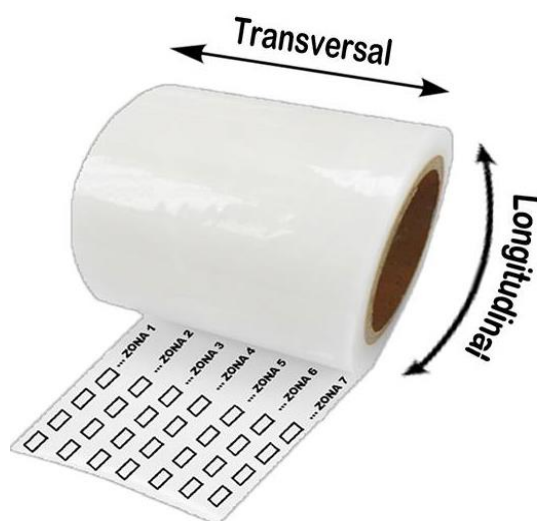


Figura 20: Representação do corte efetuado para a execução dos ensaios para a extrusora monocamada;



Para cada espessura analisada os resultados apresentam-se com uma linha de tendência polinomial, de modo a permitir uma melhor compreensão dos resultados.

3.4. Caracterização – Propriedades dos Filmes

Para proceder à caracterização dos filmes cast é necessário recorrer a vários procedimentos experimentais, que serão descritos nesta seção.

3.3.1. Gramagem

A gramagem é definida como o peso em gramas por unidade de área de um filme plástico, e é apresentada normalmente em g/m^2 . O ensaio consiste em cortar cinco amostras com recurso ao cortante, com a dimensão do molde 10 x 4 cm e pesar na balança de precisão (BA 15).

O ensaio foi realizado segundo a norma de ensaio interna número 19 da empresa.

3.3.2 Coeficiente de Atrito

O ensaio consiste em fazer deslizar um bloco revestido pelo filme a caracterizar a velocidade constante sobre uma plataforma lisa. A medição do coeficiente de atrito, neste trabalho, foi realizada entre filme com filme, portanto, a plataforma também tem de estar revestida pelo mesmo filme e afixada nas extremidades para não adulterar os resultados.

O ensaio foi realizado segundo a norma ASTM D 1894-01. Esta determina que o coeficiente de atrito resulta do quociente entre a força registada pela máquina ((Instron Model 1011) e o peso do bloco.



3.3.3. Resistência à Tração

O ensaio consiste em colocar uma amostra do material (provete), com dimensões de 150x10 mm numa máquina de tração ((Instron Model 1011)). Os dados obtidos serão sempre uma relação entre força e alongamento, mas que posteriormente são analisados em termos de tensão/deformação. A tensão não é mais do que o quociente entre a força aplicada e a secção reta do provete, enquanto que a deformação se define como a razão entre o alongamento sofrido e a distância inicial entre as amarras.

A norma utilizada para a determinação da resistência à tração foi a ASTM D 882-02. A velocidade do ensaio e a distância entre amarras foi de 500 mm/min e 50 mm respetivamente.

3.3. 4. Retração

O valor que resulta desta análise possibilita a indicação da orientação das moléculas sendo expectável que os filmes de menor espessura, e quando avaliados na direção longitudinal, apresentem maiores valores de retração.

Os provetes são cortados de forma retangular (15x150mm) tanto para a direção longitudinal quanto para a direção transversal do filme. Por via deste corte procede-se à medição da alteração dimensional. O provete fica sobre uma placa de acrílico devidamente revestida com talco e é colocado no interior da estufa por vinte minutos. Após o tempo de estufa o mesmo provete foi colocado em repouso, a temperatura ambiente, por um período, nunca inferior, a 20 minutos. O ensaio seguiu os parâmetros habituais, sendo que a retração a quente se realizou numa estufa Binder WTB para a temperatura de 120°C.



Para determinação da retratilidade do material a Plastirso criou uma norma interna tendo como referência as seguintes normas:

- ASTM D 1204 – “Método de ensaio para determinação das alterações dimensionais lineares de placas termoplásticas ou filmes não rígidos, a temperatura elevada.”
- ASTM D 2732 – “Método de ensaio para determinação da contração linear térmica de um filme de plástico “livres”.”

A norma ASTM D 1204 é a que mais se aproxima do método interno implementado.

3.3.5. Hot Tack

A realização deste ensaio permite analisar a capacidade que um filme plástico tem em soldar e em resistir a uma força aplicada logo após a realização da soldadura. Esta característica do material é designada por Hot Tack, e é uma propriedade muito importante quando se trata de embalamento automático. Em filmes plásticos a soldadura é comumente denominada selagem.

Hot Tack é um termo utilizado para definir a força de uma selagem a quente num intervalo de tempo especificado após o fim do ciclo de selagem, sem que contudo a temperatura desta atinga a temperatura ambiente. Este é importante em aplicações de embalamento automático, onde a janela de tempo é crítica quando a soldadura é realizada na própria máquina de embalamento, e tem de resistir aos esforços do processo. Quanto maior o tempo de arrefecimento da soldadura maior a sua resistência. Este ensaio permite determinar quais as temperaturas mínimas e máximas às quais é possível selar um filme plástico, ou seja a gama de temperaturas de soldadura do filme. [23]

A técnica consiste em pressionar dois filmes, que são aquecidos de forma a levar à fusão e criar uma união entre os filmes. Torna-se numa característica importante também para alcançar altas taxas de produção na prática industrial, onde o tempo de contacto é muitas vezes inferior a um segundo. O ensaio permite determinar uma gama de temperaturas para as quais é possível selar o filme plástico. Quanto maior for o tempo de arrefecimento da selagem, maior será a resistência da própria solda. Este



ensaio permite determinar quais as temperaturas mínimas e máximas a que é possível soldar um filme plástico, ou seja a gama de temperaturas de soldadura do filme. [24]

A empresa onde foi realizado esta dissertação não se encontra equipada com um equipamento de Hot Tack, pelo que a determinação da gama de temperaturas foi realizada de acordo com uma norma interna da empresa, o PE nº 20. Esta norma é baseada em duas normas:

- ASTM F 1921 – “Resistência da selagem a quente de polímeros termoplásticos e de misturas que compreende as superfícies vedantes de redes flexíveis”
- ASTM D 2029 – “Práticas padrão para a realização de selagens a quente para a determinação da capacidade de selagem a quente de zonas a selar flexíveis, medida pela força da soldadura”.

Este ensaio foi realizado na máquina de selagem existente na empresa, que se encontra representada na figura 12. Esta máquina permite definir qual a temperatura das barras de selagem, o tempo de contacto entre estas e a pressão exercida. O princípio básico deste teste é fazer variar a temperatura das barras, para uma mesma pressão e um mesmo período de tempo, de forma a verificar qual a temperatura mínima e máxima necessária para que a amostra solde.

Os ensaios de Hot Tack foram realizados a uma pressão e tempo definidos no ensaio fde 3bar e 1s, respetivamente.

3.3.6. Turbidez

A turbidez é uma propriedade que está relacionada com a transparência dos materiais, e pode ser definida como a percentagem de luz transmitida em relação à direção do feixe incidente. O medidor de turbidez utilizado mede a transmitância direta e a transmitância total, sendo que a turbidez resulta do quociente entre os valores registados. O equipamento utilizado é o espectrofotómetro - *Color QUEST II*.



Para a realização desta medição, usualmente, utiliza-se como base a norma ASTM 1003-00. Contudo, devido a diferenças da geometria do instrumento utilizado, o ângulo de captação da luz transmitida relativamente à direção de incidência não é de $2,5^\circ$. A abertura do ângulo do observador utilizado durante os ensaios é de 10° e o tipo de iluminante utilizado é o D65 (iluminação da luz do dia). [25]

3.3.7. Resistência da Soldadura

A determinação da resistência da selagem passa por duas etapas importantes. A realização da selagem a quente propriamente dita (soldadura), e a determinação da resistência da solda.

Para a realização deste ensaio, utilizam-se duas normas como referência, uma para a realização da solda e outra para quantificar a resistência da mesma.

- ASTM F 88-00 – “Método de ensaio normalizado para a força de selagem de materiais de barreira flexíveis”;
- ASTM F 2029 – “Práticas Padrão para a realização de selagens a quente para a determinação da capacidade de selagem a quente de zonas a selar flexíveis, medida pela força de soldadura”.

Neste ensaio recorre-se ao ensaio de Hot Tack, para definir as temperaturas máximas e mínimas de soldadura. Posteriormente torna-se necessário definir algumas condições de ensaio: temperatura de realização da solda, pressão das placas de soldadura, tempo de aplicação da mesma e as faces do filme a serem soldadas (face sem tratamento/ face sem tratamento). Após o arrefecimento da soldadura, com o auxílio do molde (150 x 16 mm) cortar 5 amostras. Realizar o ensaio de resistência à soldadura e registar a força máxima no momento de rotura da soldadura. Neste caso será importante observar o modo como se dá a rotura da soldadura.



No ensaio a solda foi realizada com as mesmas condições de tempo (1s) e pressão (3bar) para ambos os filmes. A temperatura foi alterada consoante a espessura do filme para o PPC, enquanto que para o PPH foi possível utilizar sempre a mesma temperatura dado tratar-se de uma menor gama de espessuras estudadas. Na tabela seguinte encontram-se as Temperaturas a que foram realizados os ensaios da resistência da soldadura.

Tabela 4: Temperaturas de Soldadura a que foram realizados os ensaios.

	Espessuras	
	[20 μm ; 50 μm]	[55 μm ; 80 μm]
PPH	160 °C	–
PPC	140°C	150 °C

Para este ensaio utilizou-se uma velocidade de separação entre as amarras de 250mm/min e uma distância inicial de 50mm. Os provetes foram cortados com o auxílio de um bisturi e de uma placa retangular com 15mm de largura. O posicionamento do provete encontra-se representado na figura 20.

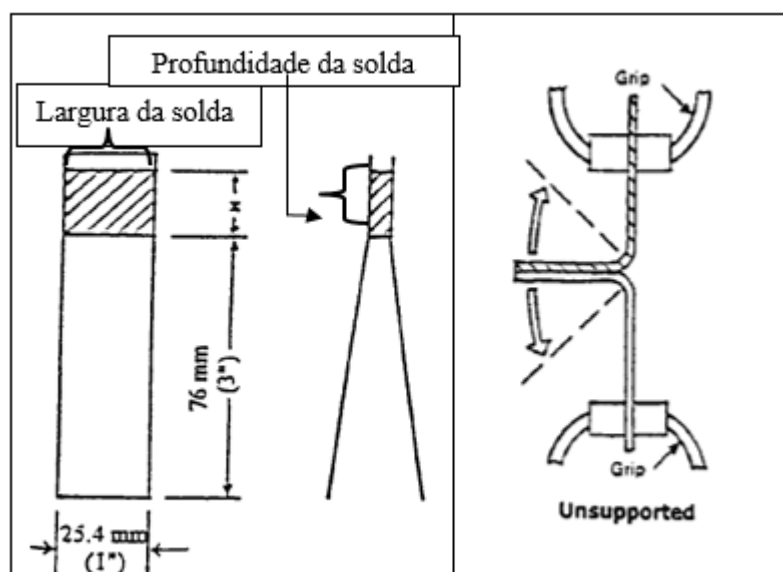


Figura 21: Esquerda - Tipo de provete e solda testada; Direita - Posicionamento do provete na máquina de tração. [26]



Neste tipo de ensaio é importante registar visualmente a tipologia de falha do provete. Frequentemente ocorre mais do que um tipo de falha no decurso da falha de uma tira individual. Para tal, deve-se registar todos os tipos de falha observados, figura 21.

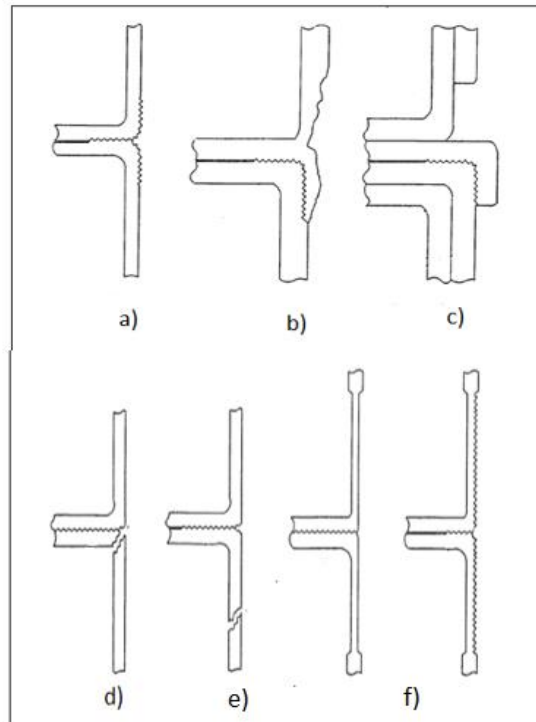


Figura 22: Representação das falhas do provete. a) Destaque da Soldadura; b) Falha coesiva do material; c) Rotura na camada selada (Delaminação); d) Falha de adesão da selagem (corresponde a uma má soldadura); e) Rotura de material indiferente á soldadura; f) Alongamento do material; [26]





4 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS



Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos na caracterização dos filmes em estudo.

Numa primeira fase, será apresentado um pequeno estudo sobre a influência do estiramento que ocorre durante o processamento sobre a gramagem e propriedades mecânicas do material. Numa segunda fase serão apresentados os resultados no que diz respeito às diferentes matérias-primas em análise, ou seja, PPC (polipropileno copolímero) e PPH (polipropileno homopolímero). Em cada fase, apresenta-se uma análise comparativa entre as espessuras analisadas como das extrusoras em estudo, extrusão e coextrusão .

Para as propriedades em análise os valores obtidos em cada gama de espessuras resultam da média dos valores obtidos para todos os filmes com espessura dentro dessa gama. Junto dos valores médios apresentam-se também os desvios padrão obtidos, que estão indicados nos gráficos através das barras de erro. As linhas de tendência adicionadas aos gráficos permitem visualizar a dispersão dos resultados obtidos.

Para proceder à caracterização do filme PP cast foram recolhidas amostras, produzidas entre espessuras de 25 μ m a 50 μ m para o PPH e de 20 μ m a 85 μ m para o PPC.



4.1. Influência do Estiramento na Gramagem

4.1.1. Gramagem

Como referido na seção 3.2 foram retiradas duas amostras para cada extrusora e material em estudo. Para uma melhor perceção dos resultados obtidos, estes apresentam-se em seguida graficamente:

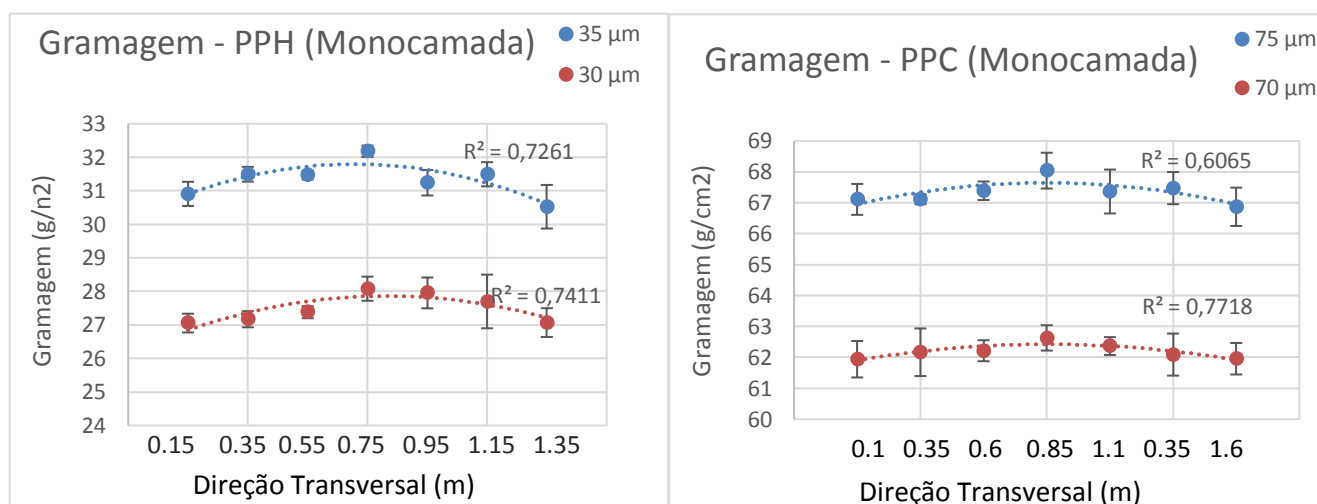


Figura 24: Resultados obtidos á Gramagem na direção transversal do material nos diferentes materiais para a extrusora monocamada;

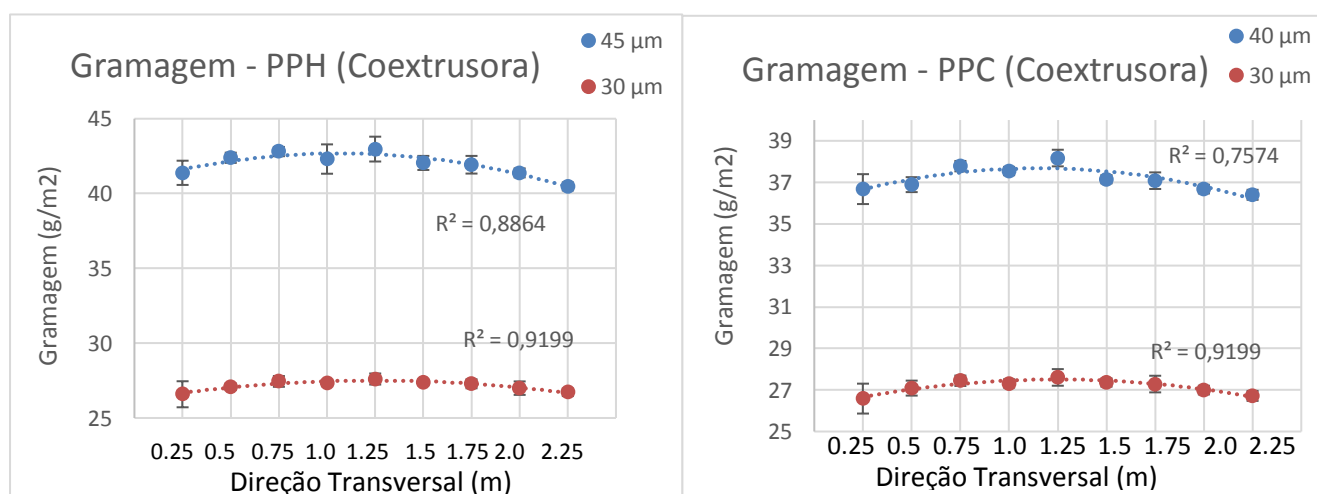


Figura 23: Resultados obtidos á Gramagem na direção transversal do material nos diferentes materiais para a coextrusora;



Como se pode verificar pelos gráficos apresentados em cima, o material tem uma maior gramagem no centro da folha, sendo que, na periferia desta, se observa o oposto.

Durante o fenómeno neck-in o filme sofre um maior estiramento nas periferias devido a uma menor velocidade à saída da fiação nesta zona. Esta tendência do material sair com velocidades diferentes relativamente às periferias induz à conclusão de que o material apresenta uma maior distribuição de espessuras, pelo que o filme é mais espesso no centro da folha.

4.1.2. Propriedades Mecânicas

A nível industrial é a tensão máxima que é tida em consideração, em detrimento da tensão de rotura. Sendo assim, nesta secção será feita referência à tensão máxima e ao alongamento à rotura. Os resultados obtidos na direção transversal estão apresentados nas figuras 24 e 25.

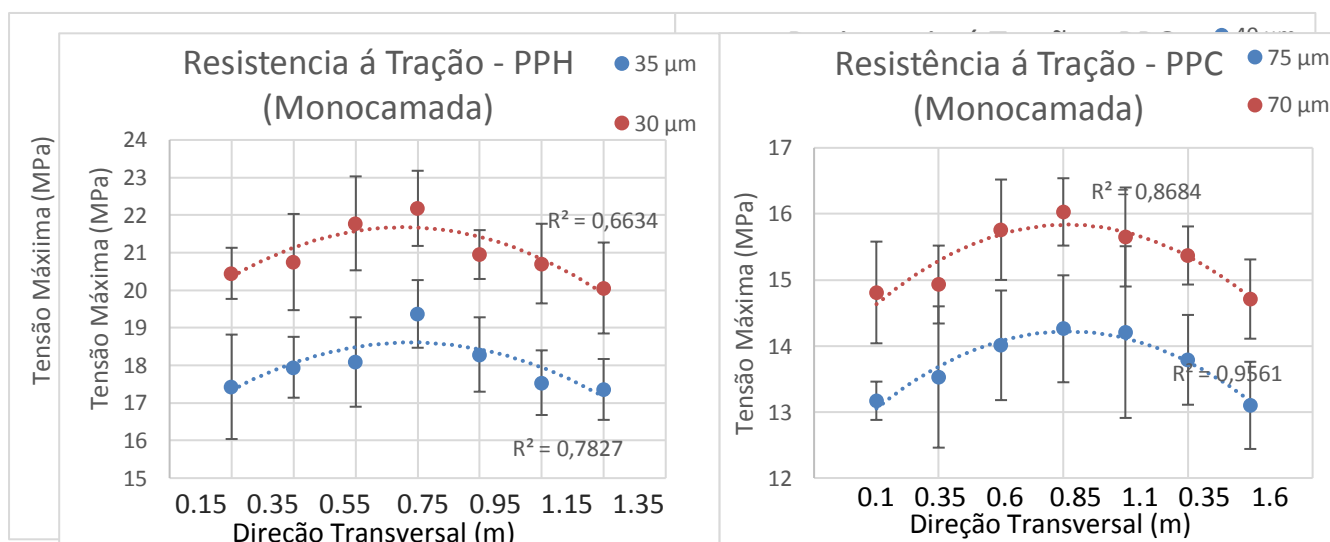


Figura 26: Resultados obtidos á Resistência á Tração nos diferentes materiais para a extrusora monocamada;



Como se pode verificar pelos gráficos apresentados em cima, o material está sujeito a uma maior resistência mecânica e um menor alongamento no centro da folha. Como já referido, durante o fenómeno neck-in o filme está sujeito a maior velocidade no centro da folha em relação à periferia. Pelo que, a primeira conclusão óbvia a que chegamos é a de que o material obtém uma maior orientação e, consequentemente, uma maior cristalinidade no centro (maior tempo de arrefecimento). Estas regiões cristalinas fazem com que as forças intermoleculares entre as cadeias poliméricas sejam mais intensas, conduzindo a uma maior resistência do material.

Por outro lado, o alongamento à Rotura está associado à desorganização das moléculas. Além disso, o material encontra-se menos orientado devido a uma maior velocidade, o que progride a uma menor cristalinidade, que por sua vez promove a um maior alongamento nas periferias da folha, como se verifica pelos gráficos que se apresentam a seguir:.

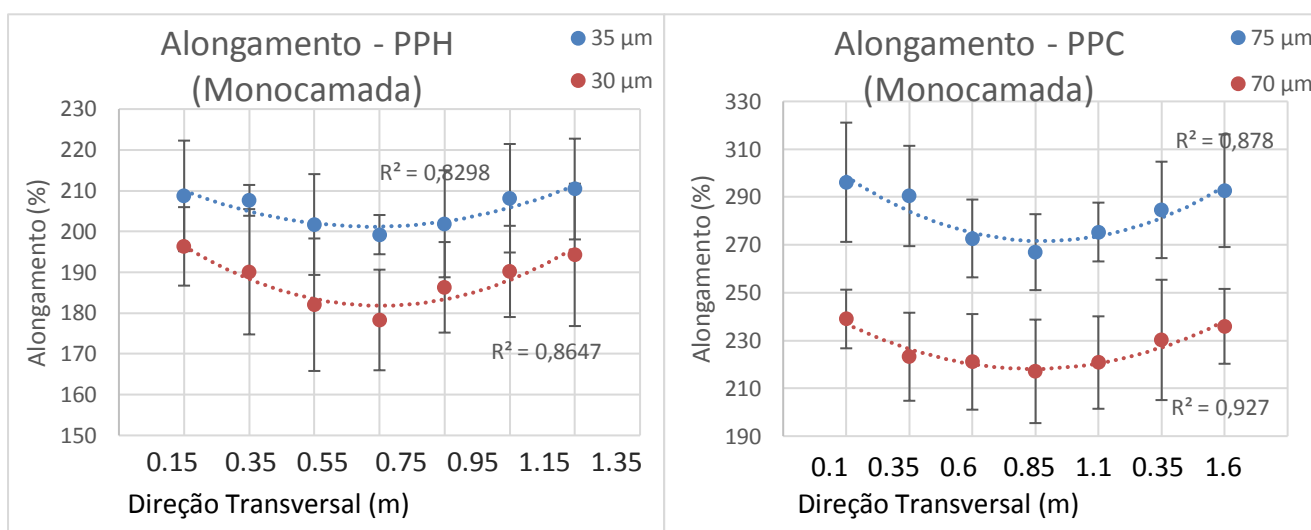


Figura 27: Resultados obtidos do Alongamento à Rotura nos diferentes materiais para a Coextrusora;

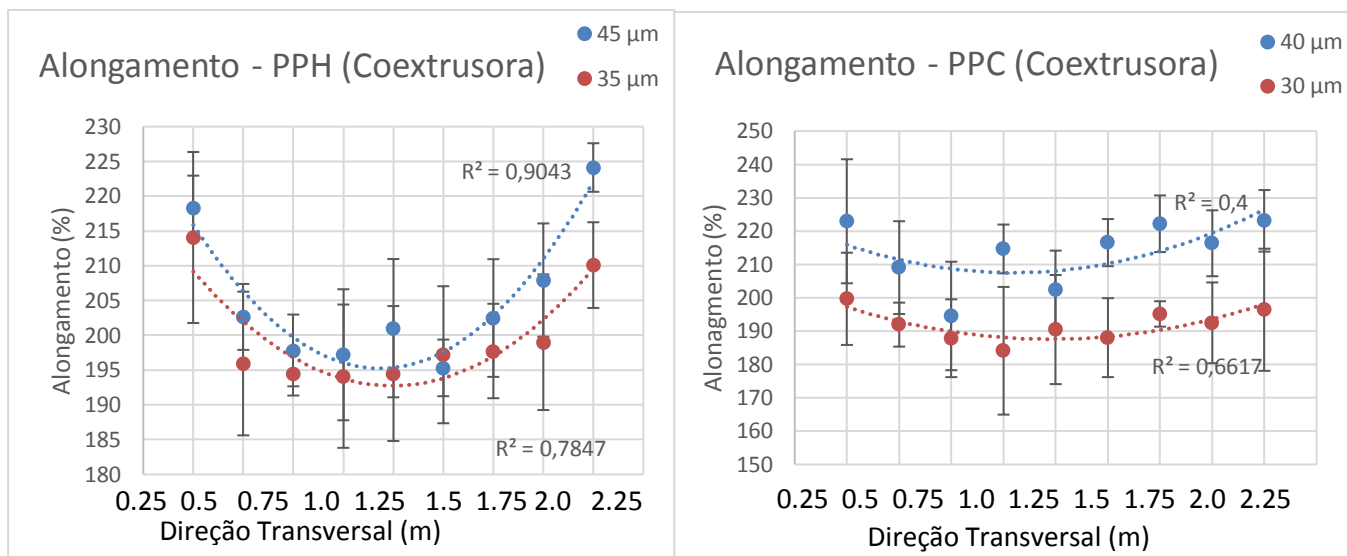


Figura 28: Resultados obtidos do Alongamento à Rotura nos diferentes materiais para a extrusora Monocamada;



4.2. Caracterização e análise das amostras obtidas nas diferentes espessuras e extrusoras em Homopolímero

4.2.1. Coeficiente de atrito

O coeficiente de atrito é uma das propriedades mais importantes nas etapas de impressão e corte, pois só este garante o deslizamento, ou não, uniforme das bobinas. Na empresa espera-se que coeficiente de atrito permaneça perto ou abaixo do valor 0.2, contudo muitas vezes o armazenamento do produto final assim como a matéria-prima utilizada podem influenciar no resultado.

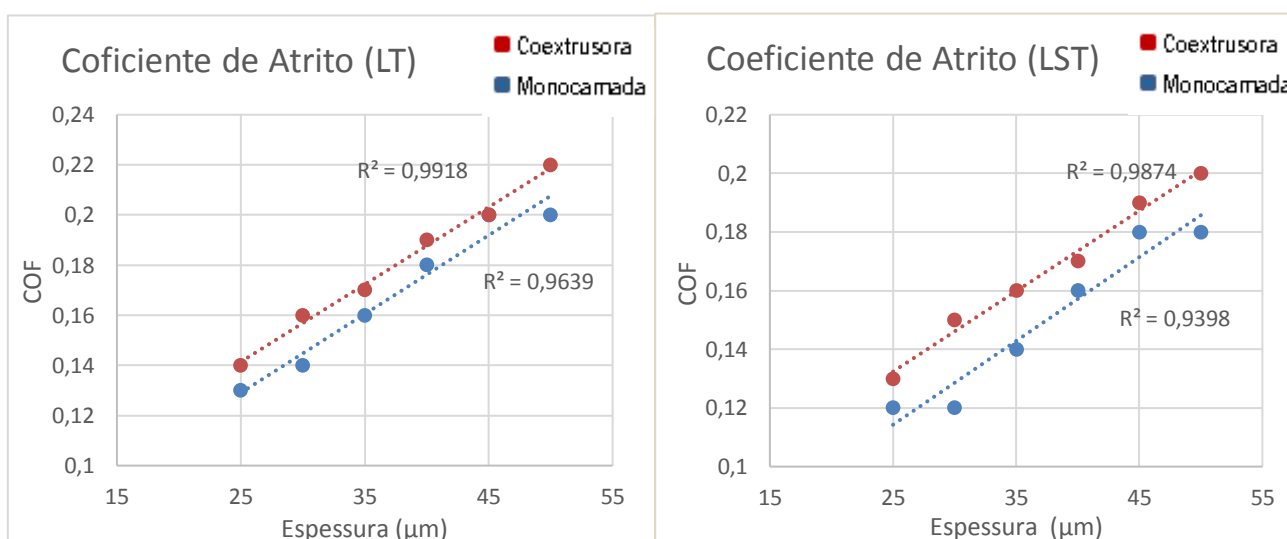


Figura 29: Resultados obtidos do COF para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPH;

É expectável que o atrito aumente à medida que aumenta a espessura, pois esta dificulta a migração do aditivo para a superfície. Além disso, quanto maior for a temperatura do Chill Roll, maior será o grau de cristalinidade e por sua vez, o aditivo terá uma maior facilidade em migrar para a superfície, o que vai de acordo com os resultados obtidos. Uma maior temperatura do Chill Roll promove um melhor deslizamento do material.



Relativamente às extrusoras, verifica-se que na monocamada se apresentaram valores inferiores de COF relativamente à coextrusora. Além disso, constatou-se também que as amostras em monocamada atingem mais facilmente o valor de 0.22 que as amostras em tricamada. Estes resultados são justificáveis pelas diferentes velocidades de produção das máquinas, em conjunto com a diferente tensão do tratamento.

4.1.2. Resistência à tração

Para as três propriedades referidas vão ser analisados os valores obtidos na direção da máquina (DM) e na direção transversal (DT). Serão apresentados gráficos representativos da variação destas propriedades ao longo das gamas de espessura analisadas para as duas extrusoras, como meio facilitador da compreensão dos resultados obtidos.

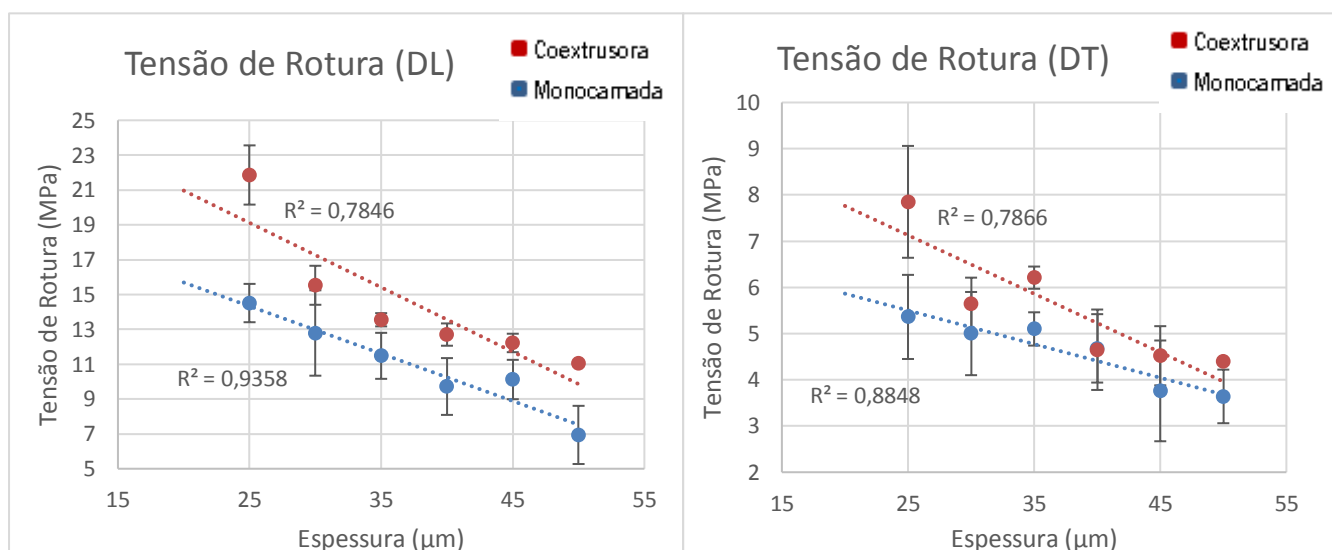


Figura 30: Resultados obtidos à Tensão de Rotura para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPH;

A primeira conclusão obtida, que se apresenta coerente com os conhecimentos adquiridos durante o estudo bibliográfico e, portanto, se pode traduzir como óbvia, é que a tensão de rotura é maior na direção da máquina do que na transversal, isto, porque é nesta direção que no processamento as moléculas são mais orientadas, fornecendo ao material uma maior resistência quando sujeito a esforços como a tração. Na verdade o material consegue resistir a uma maior força antes de romper. Além disso pode-se dizer que existe uma tendência para a diminuição desta propriedade com o aumento da espessura, isto, porque, se consegue induzir uma maior orientação para os filmes de menor espessura,



já que para os de maior espessura se torna mais difícil orientar as moléculas, pois o emaranhado das mesmas é maior.

Além disso verifica-se que em ambas as direções a coextrusora apresenta uma maior tensão de rotura relativamente à extrusora monocamada. Esta decorrência explica-se pelo facto do filme em tricamada estar sujeito a uma maior velocidade e, conseqüentemente, a um menor tempo de arrefecimento com o Chill Roll, apresentando uma cristalização mais lenta, ou seja, os cristais vão ser de grandes dimensões permitindo que o filme obtenha uma maior Tensão à Rotura.

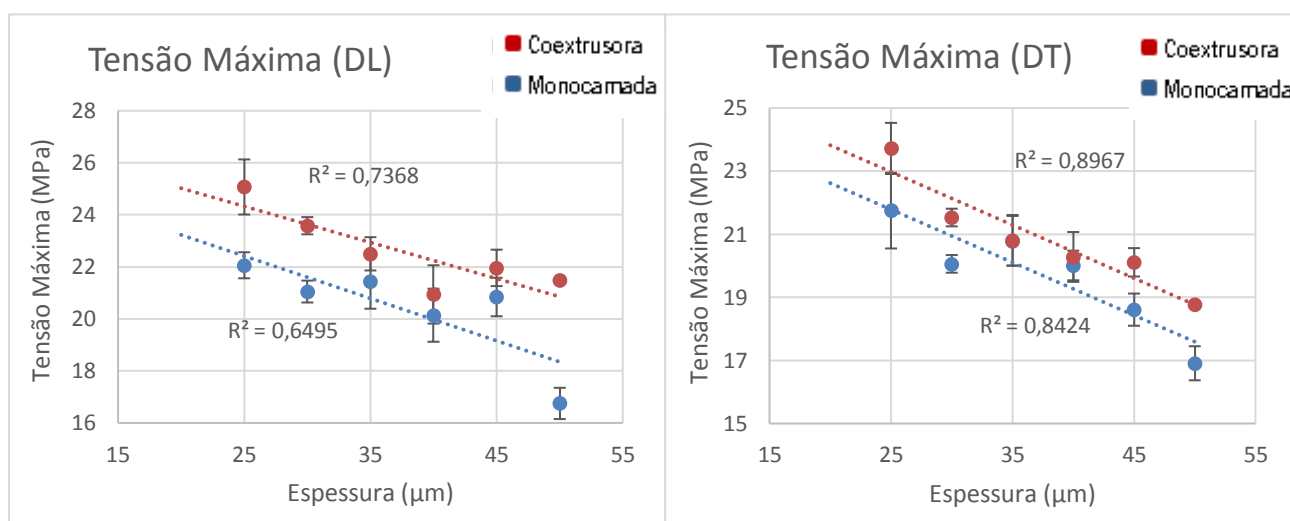


Figura 31: Resultados obtidos à Tensão Máxima para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPH;

Como referido anteriormente, verifica-se que, com o aumento da espessura do material, diminui a tensão a que o material está sujeito devido a uma diminuição da cristalinidade. Além disso, o mesmo também se verifica nas duas extrusoras, sendo que a coextrusora apresenta um maior valor de tensão máxima relativamente à monocamada.

Ao contrário da tensão máxima e da tensão de rotura, no alongamento à rotura espera-se que o seu valor aumente com o aumento da espessura do filme, uma vez que filmes mais espessos possuem uma menor orientação molecular.

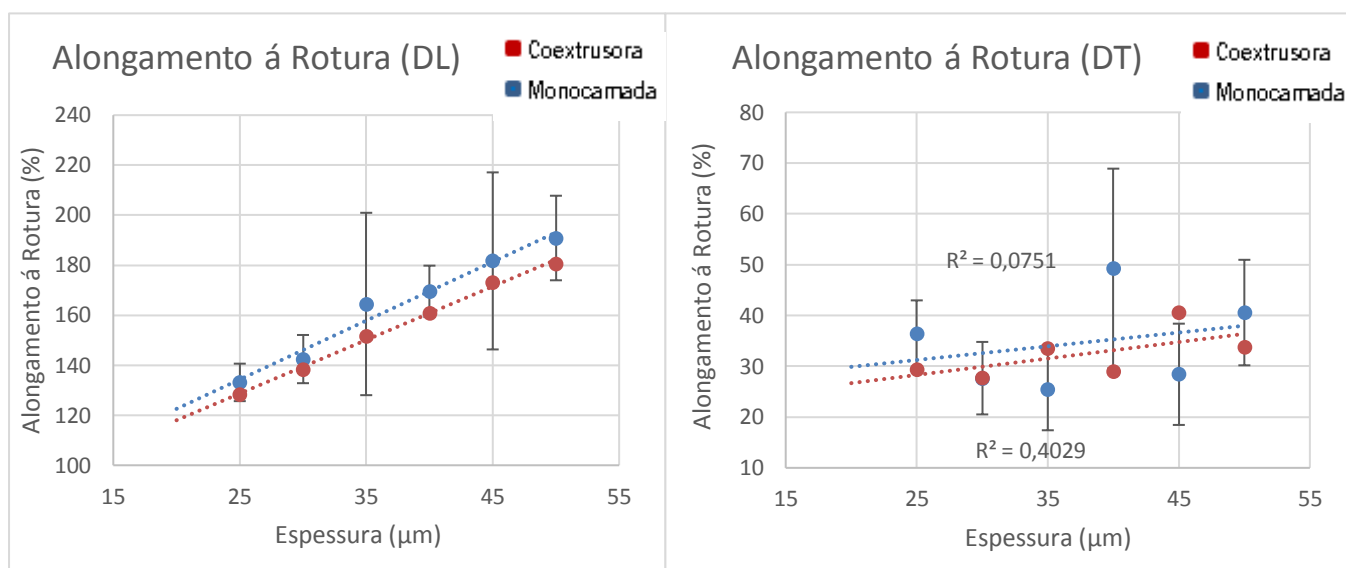


Figura 32: Resultados obtidos ao Alongamento da Rotura para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPH;

Verificou-se ainda que a extrusora monocamada apresenta em ambas as direções um pequeno acréscimo de alongamento. Este resultado encontra justificação no facto dos materiais em monocamada serem menos cristalinos que os da tricamada, promovendo uma maior deformação no material antes deste de quebrar.

4.2.3. Retração

A retração é a mudança de comprimento de uma amostra, sob a influência do calor, em certas condições de temperatura e tempo. Tal como seria de esperar os valores de retração são maiores na direção da máquina uma vez que é nesta direção que as moléculas têm uma maior orientação.

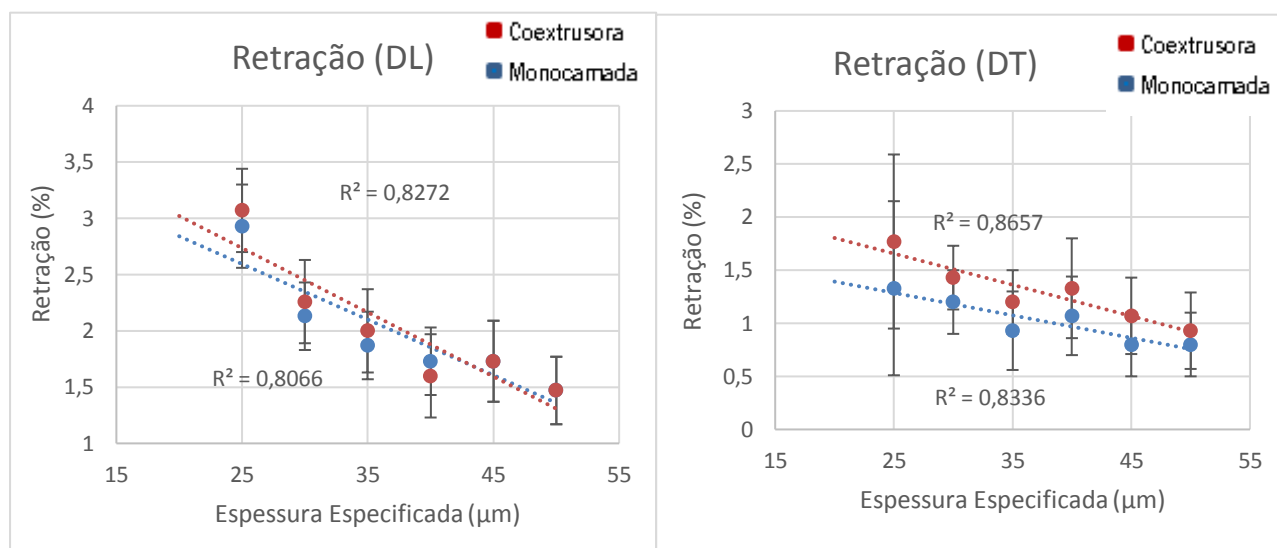


Figura 33: Resultados obtidos á Retração para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPH;

Com o aumento da cristalinidade, as moléculas vão estar mais orientadas devido à organização das esferulites, o que permite que a retração seja maior. Esta noção aferida do ponto de vista bibliográfico foi confirmada e reforçada através dos resultados agora expressos. De facto, quanto maior a velocidade da extrusora maior vai ser a cristalinidade do material, que terá, por sua vez, uma maior retração.



4.2.4. Hot Tack

. Relativamente ao polipropileno já foi referido anteriormente qual a gama de temperaturas a utilizar na determinação desta propriedade, não podendo a temperatura máxima exceder muito a temperatura de fusão (170 °C), nem a mínima ser muito inferior.

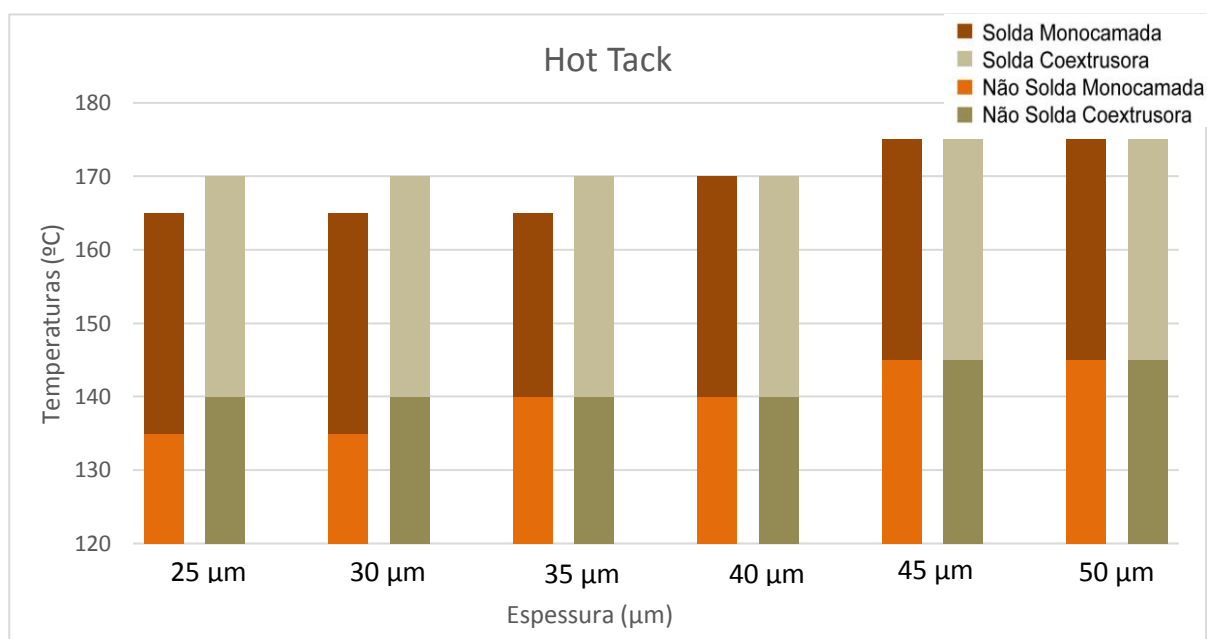


Figura 34: Resultados obtidos do Hot Tack para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPH;

Nesta análise, e tal como demonstram os resultados expressos na figura 33, verificou-se que quanto maior a velocidade, menor é a gama de temperaturas para qual o filme solda. Quanto maior for a velocidade, maior vai ser a cristalinidade, isto porque o filme vai apresentar um arrefecimento mais lento já que tem um tempo de contacto menor com o Chill Roll. Assim, o filme ter menores zonas amorfas tendo, como consequência, a má soldadura do mesmo. Porém, verifica-se que a partir de espessura 35 µm esta influência de velocidades não é determinante entre extrusoras, apresentando resultados iguais.

Além disso, e no que concerne à diferença de espessuras, é esperado, que a temperatura aumente com o aumento da espessura. Ainda assim, dada a proximidade da gama de espessuras em análise não se pode afirmar com clareza este facto. Contudo verifica-se uma uniformidade nos valores obtidos e uma ligeira tendência para o aumento da temperatura com o aumento da espessura do filme, tal como esperado



4.2.5. Turbidez

As propriedades óticas são as mais influenciadas pela qualidade da amostra, uma vez que na determinação da turbidez se requer amostras com uma boa superfície, livre de riscos e rugosidades.

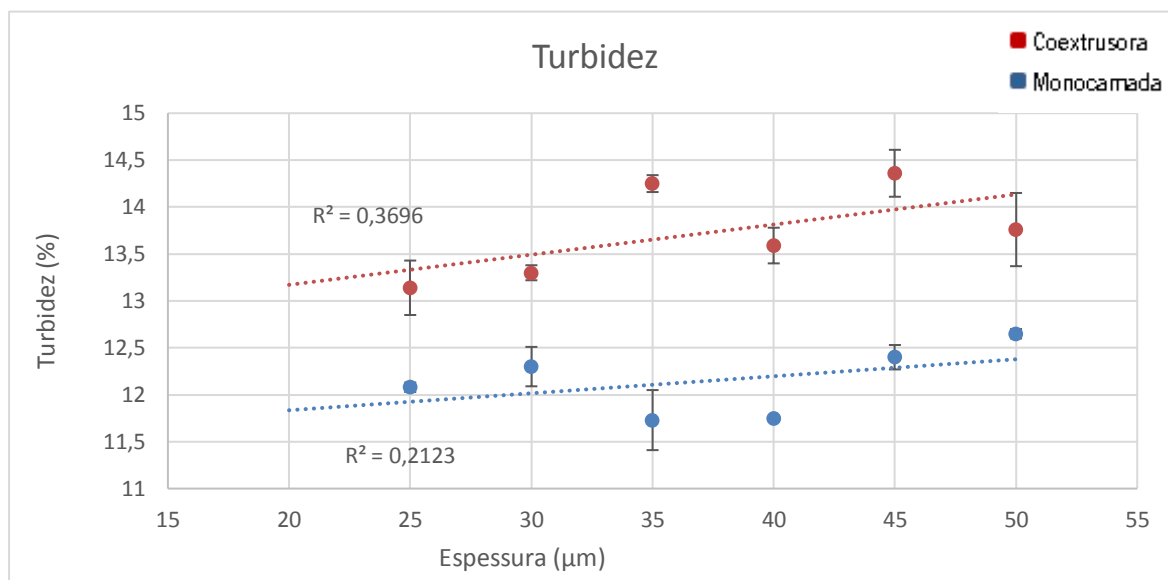


Figura 35: Resultados obtidos da Turbidez para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPH;

Perante os resultados obtidos verifica-se uma diferença da turbidez com a espessura, em que os filmes de maior espessura apresentam um valor maior. Estes dados indicam que há uma maior tendência para o filme ser mais opaco, efeito que muitas vezes não é desejado nos produtos. Com o aumento da espessura há uma maior dificuldade da luz atravessar a amostra. Além disso, os filmes mais espessos têm uma maior tendência para que as suas moléculas cristalizem, pois o tempo de arrefecimento é maior, pelo que a turbidez aumenta.

Ademais, quando a extrusora opera com velocidades lineares elevadas faz com que os filmes apresentem um aspeto mais baço do que a velocidades mais baixas. Isto acontece porque o filme vai ter um menor tempo de arrefecimento com o Chill Roll e, como consequência, vai apresentar uma cristalização mais lenta. Ou seja os cristais vão ser de grandes dimensões e por isso a estrutura cristalina do filme vai apresentar um menor número de zonas amorfas.



4.2.6. Resistência da Soldadura

Este ensaio não é mais do que um ensaio de tração, sendo que se pretende que a solda resista à tração, garantindo a resistência da mesma.

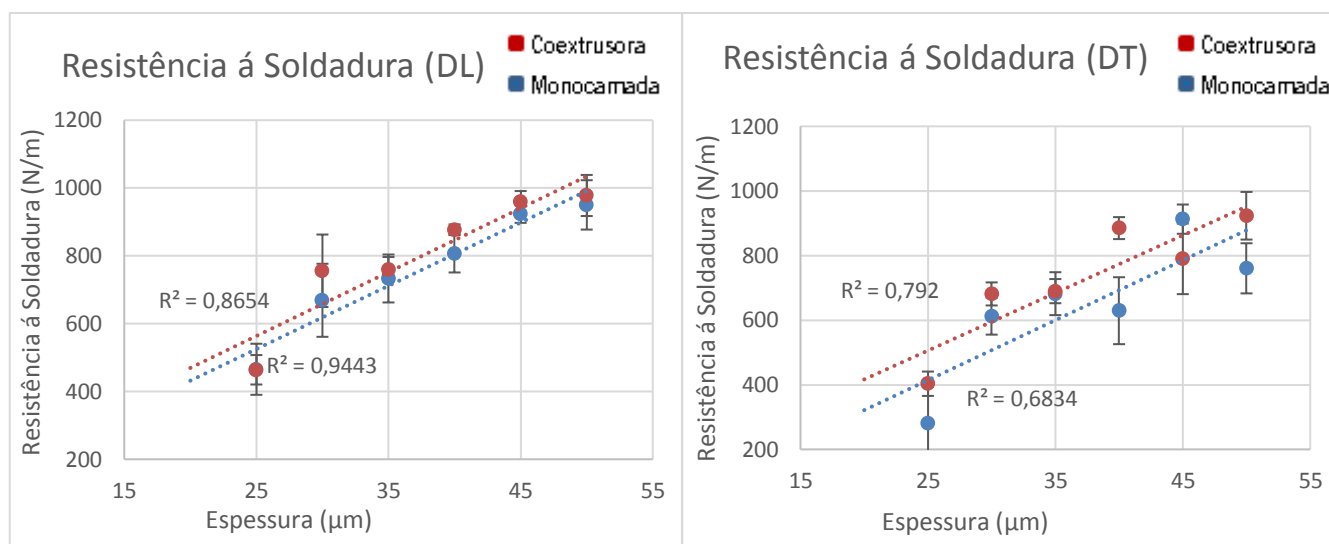


Figura 36: Resultados obtidos da Resistência da Soldadura para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPH;

Pode-se constatar que a resistência da soldadura aumenta com o aumento da espessura. Estes resultados vão de acordo com o esperado, uma vez que com o aumento da espessura é necessária uma maior força para que a solda quebre.

Relativamente às extrusoras, verifica-se que a coextrusora apresenta valores superiores em relação à monocamada, uma vez que na coextrusão o filme vai apresentar uma maior cristalização permitindo que o material tenha mais resistência à quebra. Assim, tendo em conta, processos posteriores à extrusão, é importante ter em conta que no caso de se realizar soldaduras, a coextrusão apresenta uma melhor resistência



4.3. Caracterização e análise das amostras obtidas nas diferentes espessuras e extrusoras em Copolímero

4.3.1. Coeficiente de atrito

Os resultados obtidos relativos ao Coeficiente de Atrito foram os seguintes:

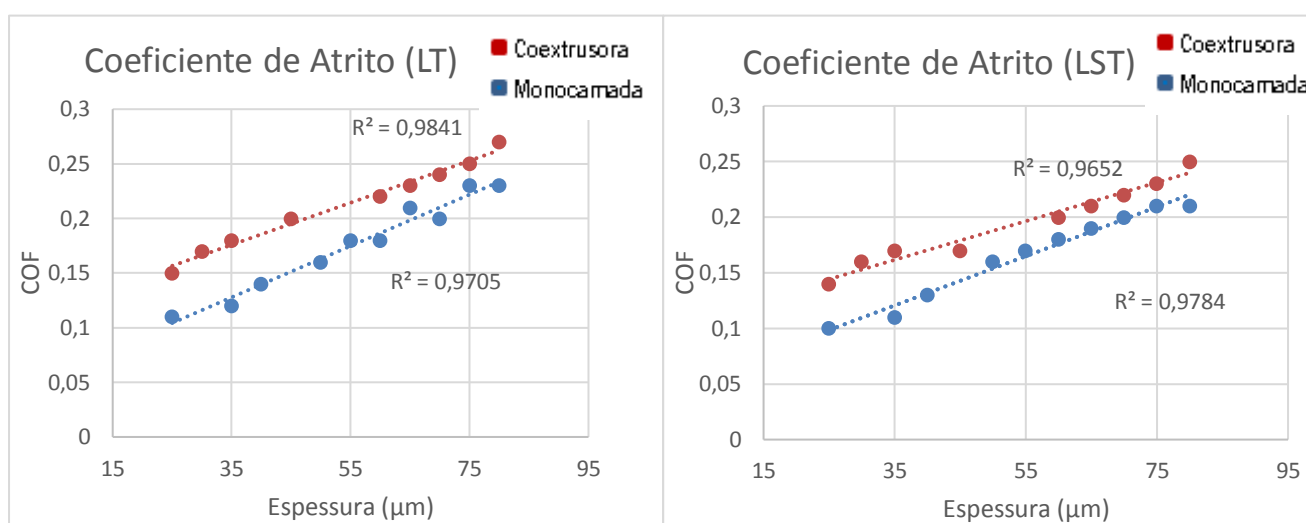


Figura 37: Resultados obtidos do COF para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPC;

Analisando as figuras acima apresentadas, verifica-se que os valores de COF na face não tratada são aproximadamente inferiores aos resultados obtidos na face tratada. Estes resultados vêm de encontro às nossas expectativas.

Como já referido, é expectável que o atrito aumente com o aumento da espessura, pois esta dificulta a migração do aditivo para a superfície. Além disso, quanto maior for a temperatura do Chill Roll, maior será o grau de cristalinidade e, por sua vez, aumenta o coeficiente de atrito.

Nas extrusoras, verifica-se que a monocamada apresenta valores inferiores de COF relativamente à coextrusora. Além disso, através da realização dos ensaio, constatou-se que as amostras em monocamada atingem mais facilmente o valor de 0.22 que as amostras da coextrusora.



Estes resultados são justificáveis, uma vez que a matéria-prima utilizada na extrusão é mais deslizante do que a matéria-prima utilizada na coextrusão. Além disso, uma maior velocidade da máquina bem como, uma maior tensão de tratamento na coextrusora, agravam este comportamento.

4.3.2. Resistência à tração

Na análise aos resultados obtidos para a análise à resistência à tração espera-se que ocorra uma diminuição da propriedade com o aumento da espessura, devido à orientação do material. Os resultados efetivos são demonstrados nos gráficos representados na Figura 37.

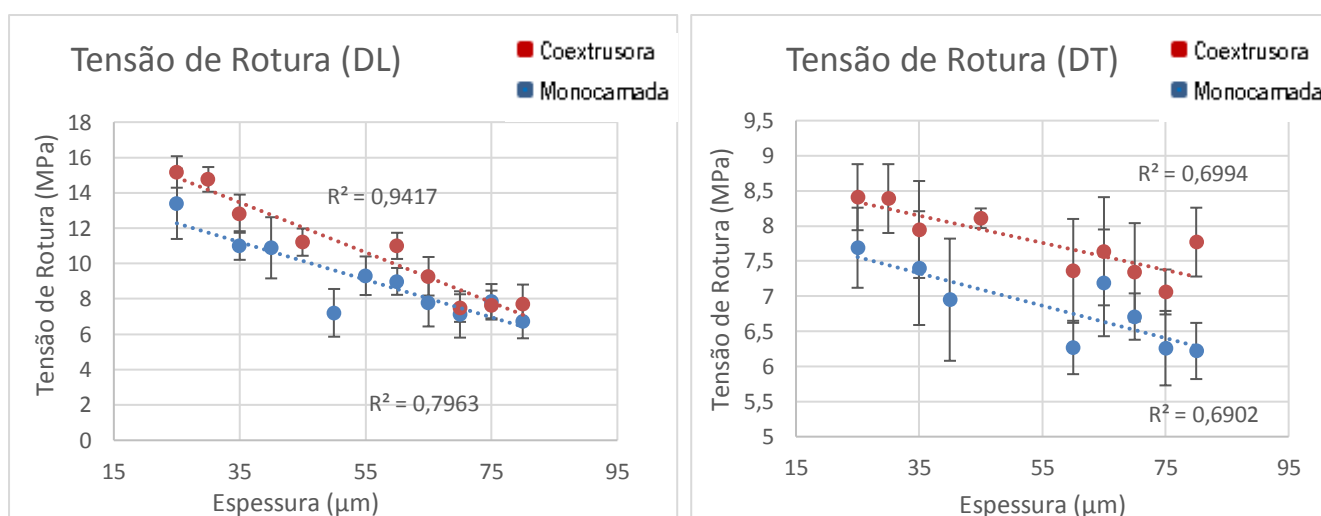


Figura 38: Resultados obtidos da Tensão de Rotura para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPC;

Através da análise aos gráficos apresentados é possível confirmar a aludida diminuição da propriedade com o aumento da espessura, devido à orientação do material. Além disso verifica-se que em ambas as direções a coextrusora apresenta uma maior tensão de rotura relativamente à extrusora monocamada. Tal facto pode ser explicado uma vez que o filme tricamada está sujeito a uma maior velocidade e, conseqüentemente, a um menor tempo de arrefecimento com o Chill, apresentando uma cristalização mais lenta, e resultando em cristais de grandes dimensões.



Para a tensão máxima o raciocínio empreendido foi o mesmo. Neste campo verificou-se que com o aumento da espessura do material diminui a tensão a que o material está sujeito devido a uma diminuição da cristalinidade. Ademais, o mesmo também se verificou nas duas extrusoras. A coextrusora apresentou um maior valor de tensão máxima relativamente à monocamada.

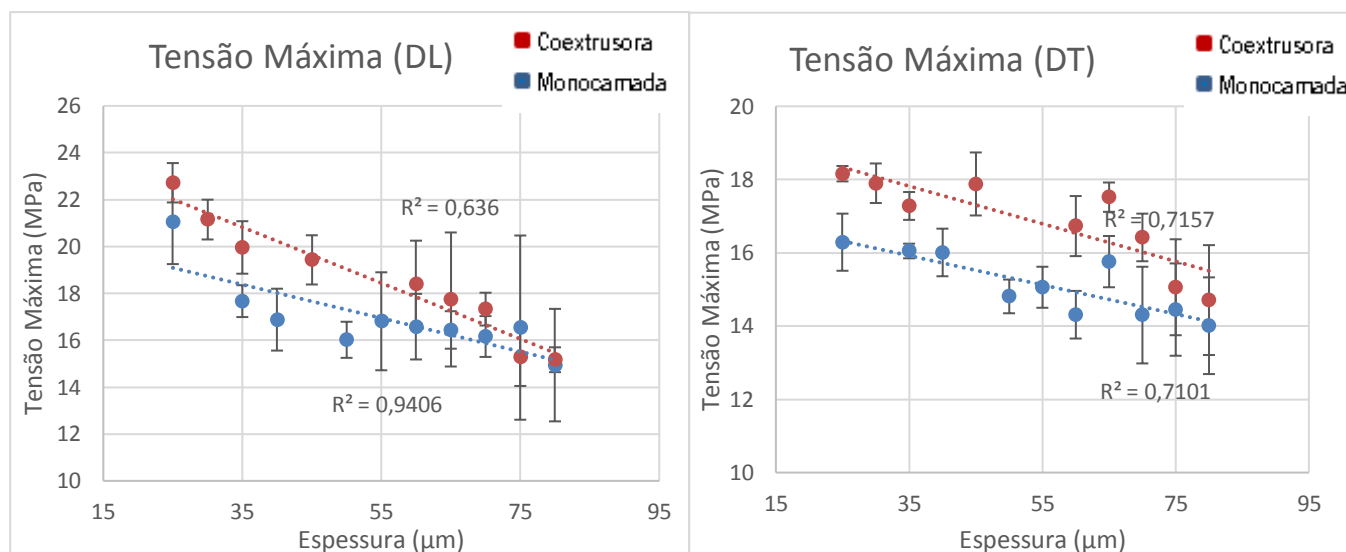


Figura 39: Resultados obtidos da Tensão Máxima para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPC;

Ao contrário da tensão máxima e da tensão de rotura, no alongamento à rotura espera-se que o seu valor aumente com o aumento da espessura do filme, uma vez que filmes mais espessos possuem uma menor orientação molecular. Os gráficos da Figura 38 são representativos destes resultados.

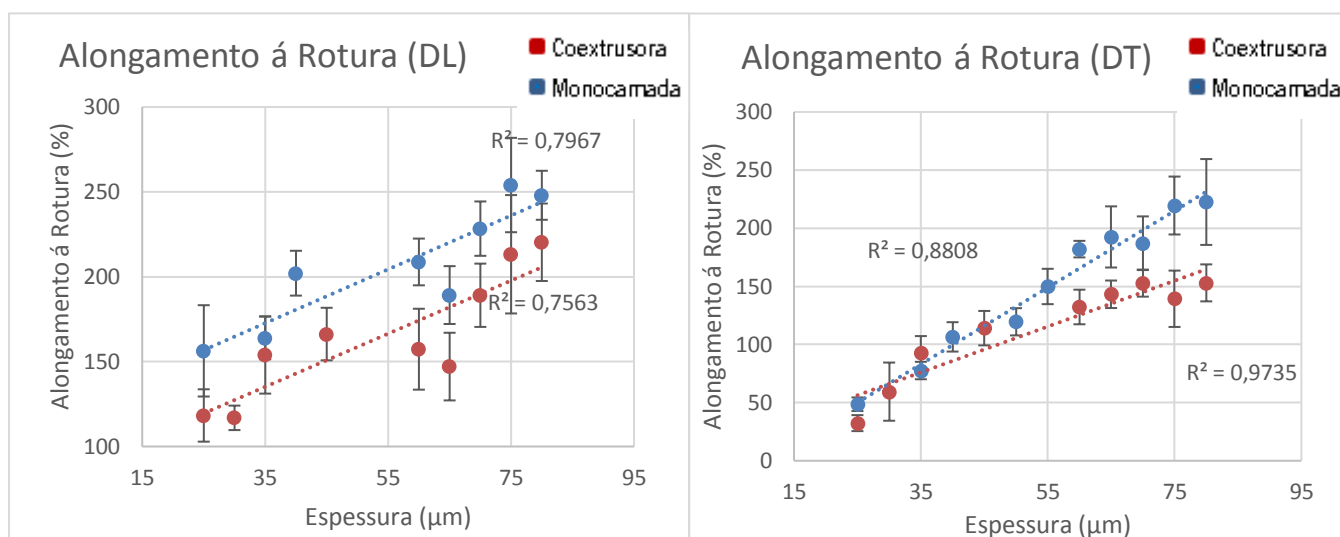


Figura 40: Resultados obtidos do Alongamento á Rotura para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPC;

Além disso, também a partir da observação aos gráficos da Figura 39, é possível verificar que a extrusora monocamada apresenta um pequeno acréscimo de alongamento em ambas as direções. Este resultado justifica-se com o facto dos materiais em monocamada sofrerem uma menor orientação que os da coextrusora, o que leva a que o material sofra uma maior deformação antes de quebrar.



4.3.3. Retração

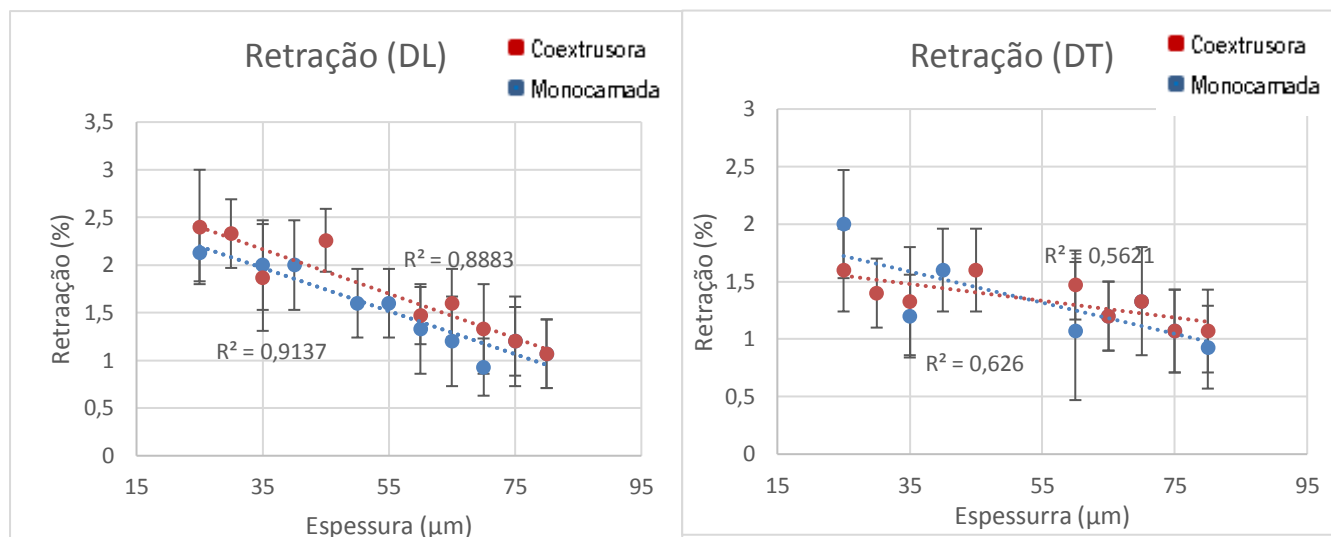


Figura 41: Resultados obtidos da Retração para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPC;

Sabendo que, com o aumento da cristalinidade, as moléculas vão estar mais orientadas, devido à organização das esferulites, este efeito permite que a retração seja maior. Tal facto foi confirmado a partir dos resultados obtidos. De facto, quanto maior for a velocidade da extrusora maior vai ser a cristalinidade do material, e por sua vez maior será a retração.



4.3.4. Hot Tack

Teoricamente os filmes de polipropileno copolímero devem apresentar uma gama de temperaturas de selagem inferiores à do homopolímero, uma vez que a existência de monómeros de etileno na sua constituição provoca uma diminuição do ponto de fusão, e, portanto, apenas conseguem suportar temperaturas mais baixas.

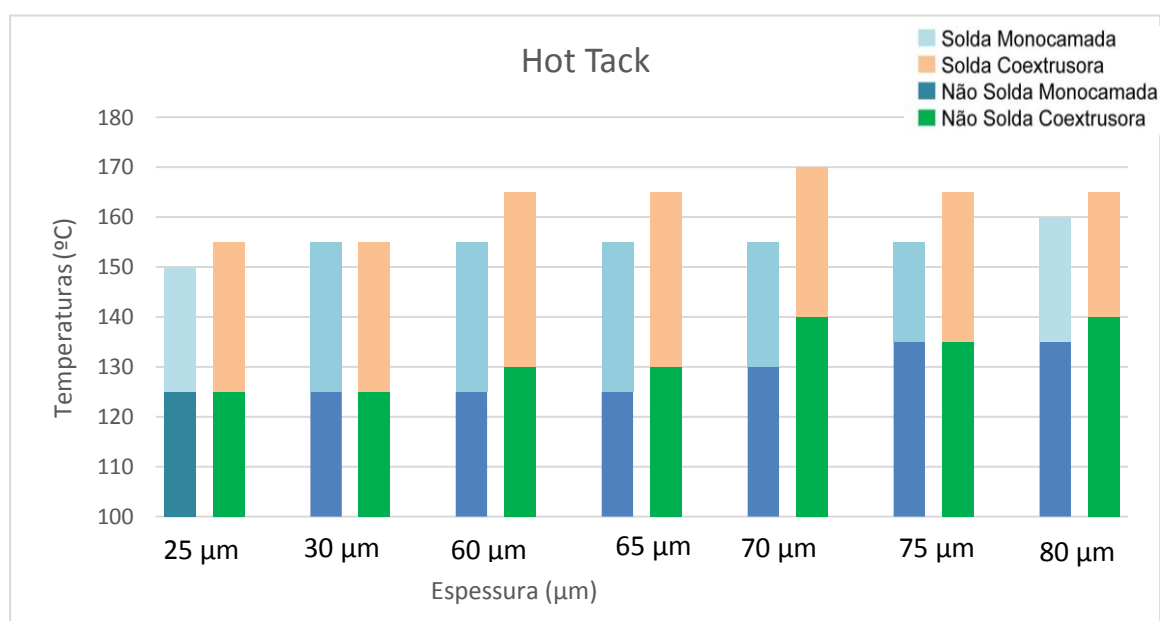


Figura 42: Resultados obtidos do Hot Tack para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPC;

Quanto maior é a velocidade linear da extrusora, maior vai ser a cristalinidade, uma vez que vai apresentar um arrefecimento mais lento exibindo menores zonas amorfas donde pode resultar a má soldadura da mesmo.

Além disso relativamente à diferença de espessuras espera-se também, que a temperatura aumente com o aumento da espessura. Contudo verifica-se uma uniformidade nos valores obtidos e uma ligeira tendência para o aumento da temperatura com o aumento da espessura do filme.



4.3.5. Turbidez

A avaliação destas propriedades é utilizada como controlo de qualidade para garantir que as mesmas se mantêm conforme a indicação do fornecedor.

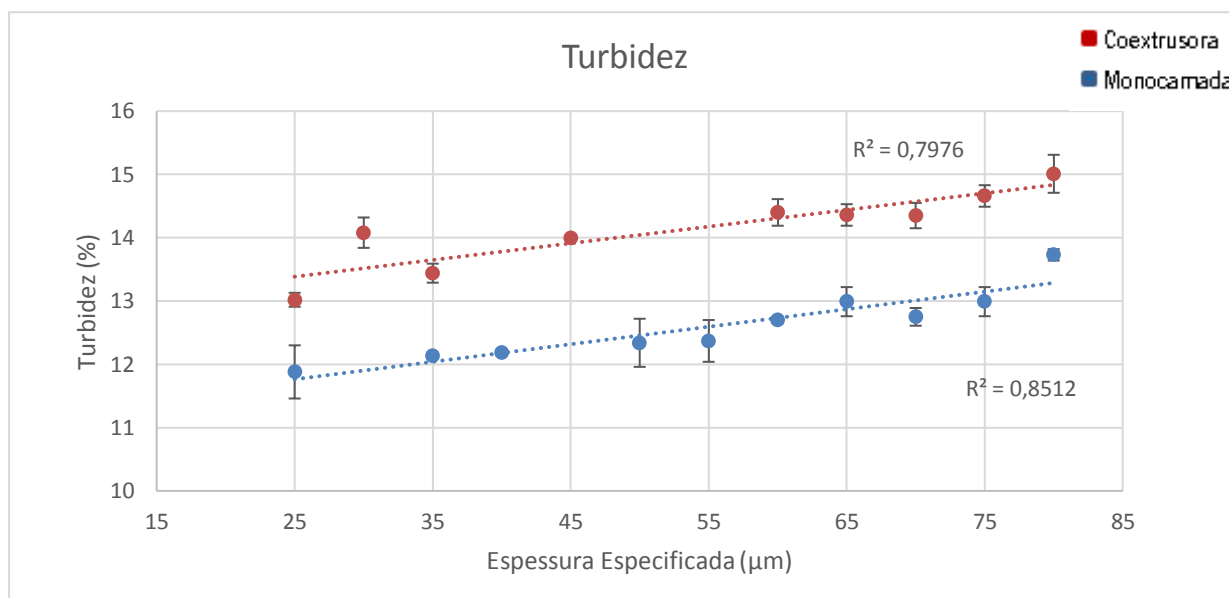


Figura 43: Resultados obtidos da Turbidez para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPC;

Os resultados apresentados permitem aferir que os filmes de maior espessura apresentam um maior valor de turbidez. Estes dados têm justificação no facto do material com um maior espessura ter um maior tempo de arrefecimento, tornando o material mais cristalino e consequentemente mais opaco.

Em acréscimo podemos ainda referir que quando a extrusora opera com velocidades lineares elevadas os filmes apresentam um aspeto mais baço do que a velocidades mais baixas, devido ao facto do material apresentar uma cristalização mais lenta.



4.3.6. Resistência da Soldadura

Como já referido, os resultados obtidos para a Resistência da Soldadura do PPC foram realizados a temperaturas diferentes após os 50 μm . Apesar de não se ter realizado os ensaios com a mesma temperatura de soldadura, foi possível aferir algumas conclusões sobre a influência do filme com a espessura e as extrusoras em estudo.

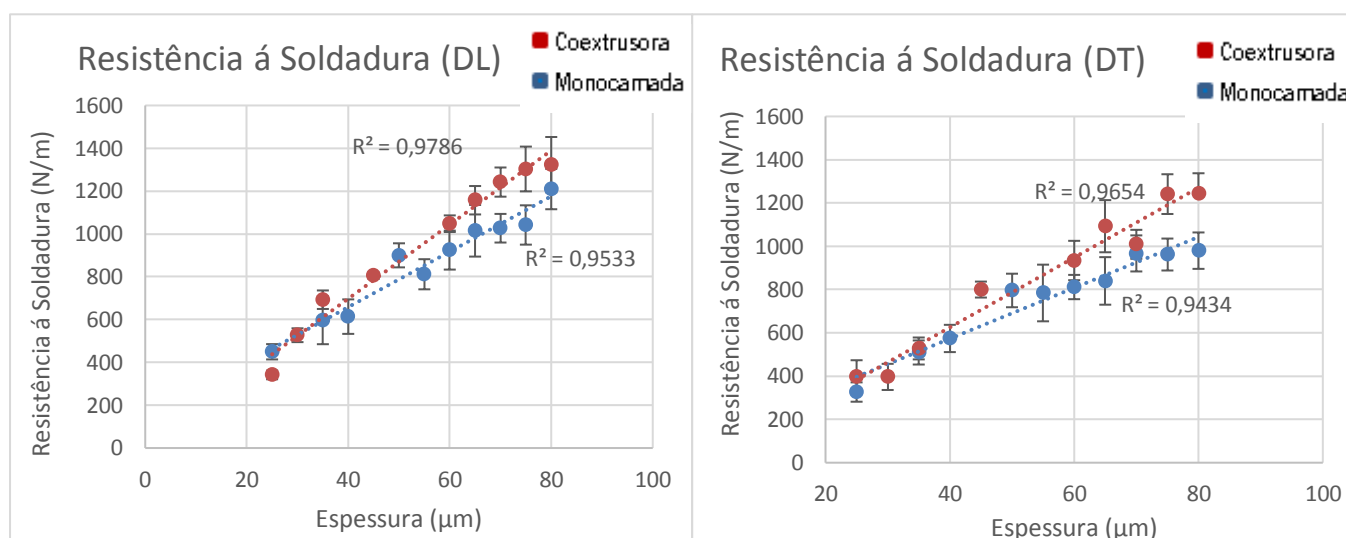


Figura 44: Resultados obtidos da Resistência á Tração para as diferentes espessuras e extrusoras estudadas no PPC;

Assim, pode-se observar que, com o aumento da espessura dos filmes a resistência da soldadura também aumenta. Este é um resultado expectável, uma vez que com o aumento da espessura é necessária uma maior força para romper a soldadura do material. Pela análise dos resultados, constata-se que em ambas as direções, o filme tricamada tem uma resistência ligeiramente superior a partir dos trinta microns, devido a uma maior cristalinidade na coextrusora. Ainda assim tendo em conta os processos posteriores à extrusão, é importante considerar que, no caso de se realizar soldaduras, o filme tricamada apresenta uma melhor resistência.



CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES



Este trabalho teve como uma finalidade o estudo da influência do estiramento nas propriedades estudadas, sendo elas, as propriedades físicas (gramagem) e propriedades mecânicas. Através da realização deste estudo foi possível criar uma base de dados onde constam as propriedades dos filmes com as espessuras estudadas e com as extrusoras em estudo, tricamada e monocamada.

Para além disso o estudo também permitiu fazer algumas ligações entre os parâmetros e as características do processamento com as propriedades dos produtos finais, e ainda com a estrutura e especificações do próprio filme.

Numa primeira fase deste trabalho, verificamos que a espessura do filme não é igual ao longo da largura deste, dado que foi observada uma maior espessura do filme no centro da folha que nas periferias do material., Esta característica relaciona-se com as propriedades mecânicas do material, sendo que são essas características que levam a que nas zonas em que o material tem uma maior espessura o filme apresente uma maior resistência, no entanto, e tal como ficou demonstrado, o alongamento à rotura será menor. Estes resultados estão relacionados com fenómenos provenientes após a extrusão do filme, uma vez que o Chill Roll gira a uma velocidade superior da velocidade à saída da fiação, ocasionando o respetivo alongamento.

No estudo da variação das propriedades com a espessura dos filmes foi possível aferir algumas conclusões interessantes. No caso do coeficiente de atrito, constatou-se que para espessuras maiores dos filmes, existe uma maior dificuldade do aditivo migrar para a superfície, o que faz com que estes apresentem um elevado coeficiente de atrito. Já no que diz respeito às propriedades mecânicas, concluímos que estas são bastante influenciadas pela espessura. Ou seja, com o aumento da espessura, a Tensão de Rotura e Tensão Máxima diminuem em ambas as direções. Contudo, o alongamento à Rotura aumenta com o aumento da espessura..

No diz respeito às propriedades térmicas, os ensaios realizados permitiram concluir que se consegue realizar soldaduras a temperaturas mais baixas para o PPH. Os nossos resultados determinaram que com o aumento da espessura dos filmes, é necessário aumentar a temperatura da soldadura, por forma a que esta se revele eficaz.

Relativamente à Retração do material, verificou-se que com o aumento da espessura do filme a retração diminui, uma vez que a orientação do material é menor. Por fim, nas propriedades óticas



concluiu-se que com o aumento da espessura o material tem tendência a apresentar maior índice de opacidade.

Relativamente às propriedades mecânicas os filmes produzidos em coextrusora apresentam maiores valores de Tensão de Ruptura e Tensão Máxima, comparativamente com os filmes produzidos em monocamada. Ademais, não se verifica o Alongamento à Ruptura.

No que toca à Resistência à soldadura, a variação da espessura com o material exigiram condições de soldadura diferentes, pelo que se teve de criar um método que permitisse a obtenção de resultados fiáveis, sempre considerando a correta realização dos procedimentos experimentais. Depois de levados a cabo estes ensaios, determinou-se que o filme tricamada apresenta uma melhor resistência.

Relativamente à retração do material apurou-se que para uma maior velocidade da coextrusora a retração é maior apesar da diferença entre as extrusoras não ser elevada. Por fim, nas propriedades óticas, concluímos que os filmes tricamada apresentam uma maior turbidez do que os filmes em monocamada, uma vez que na extrusora tricamada os materiais estão sujeitos a uma maior velocidade linear de puxo promovendo uma maior cristalização.



BIBLIOGRAFIA

- [1] A. of P. Manufacturers, “Plastics – the Facts 2013 An analysis of European latest plastics production , demand and waste data,” 2013.
- [2] Alves, P. F. – Estudo sobre a coextrusão de materiais fundidos. Guimarães: Universidade do Minho, 2013. 171 p. Tese de Mestrado.
- [3] Gregory, B. H. - Polyethylene Film Extrusion: A Process Manual. Trafford Publishing, 2009. 226. 1426918100, 9781426918100
- [4] Jenkins, W. A. e Harrington, J. P. Packaging with Plastics . U.S.A.: Technomic Publishing Company, 1991. ISBN 87762-790-8
- [5] Krishna Tex Mech a 5 de Abril de 2016 em <http://krishnatexmech.com/products/#prettyPhoto>
- [6] M. Klauber, “Film Extrusion Process,” in Film Extrusion Manual: Process, Materials, Properties, T. Press, Ed. 1992, pp. 15 – 30.
- [7] Budinski, K. Engineering Materials: Properties & Selection . (Reston, Ed.) (p. 436). Virginian.
- [8] Briston, J. Advances in Plastics Packaging Technology . UK: Pira International, 1992. 239p. ISBN 0-902799-96-7
- [9] Fakirov, S., Handbook of Thermoplastic Pol ymers: Homopolymers, Copolymers, Blends, and Composites .
- [10] Gorlier, R., Haudin, J. N. e Billon, N. Strain-induced crystallisation in bulk amorphous PET under uni-axial loading. Polymer . Vol. 42
- [11] Comoretto, D - Organic and Hybrid Photonic Crystals. Springer, 2015. p. 497. ISBN 3319165801, 9783319165806
- [12] Martins, M. - Desenvolvimento de Tecnologia de Extrusão para Indução de Microestrutura Controlada em Materiais Poliméricos. Guimarães: Universidade do Minho, 2009 p. 286 Tese de Mestrado
- [13] Rocha, P. M. – Estudo das Propriedades do filme Stretch produzido com Polietileno Linear de Baixa Densidade. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio grande do Sul, 2013. 109 p. Mestre em Engenharia
- [14] Rosato, D; Rosato, D; Rosato M. - Plastic Product Material and Process Selection Handbook. Elsevier, 2004. 618 p. ISBN 0080514057, 9780080514055



[15] W. Michaeli, Extrusion Dies for Plastics and Rubber, 2nd Ed. Spe books, Munich, Vienna, New York, Hanser Publishers, 1992.

[16] U. Kleindienst, Kunststoffe 63, 7-11, 1973.

[17] N. Wilkinson, A. J. Ryan, Polymer Processing and Structure Development, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1998.

[18] Crippa, A. – Estudo do desempenho de filmes multicamadas em embalagens termoformadas. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 2006. 151. Programa de Pós-Graduação em Engenharia.

[19] Passatore, C. R. – Química dos Polímeros – 3 Módulo – Técnico em Químico. São Paulo: Escola Técnica Estadual Tiquatira, 2013. 84

[20] Souza, S. A. Ensaios Mecânicos de Materiais. 5ª Edição. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1982

[21] Brown, R. Handbook of Polymer Testing: Short-Term Mechanical Tests . United Kingdom: Rapra Technology Limited, 2002. 211 p. ISBN 1-85957-324-X

[22] Souza, S. A. Ensaios Mecânicos de Materiais . 5ª Edição. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1982

[23] Sepúlveda, A. T. – Efeito das variáveis de processamento na microestrutura e propriedades finais de micro-moldações

[24] Mair, C; Calafut, T; Polypropylene: The definitive user's guide and Databook. William Andrew:1998.

[25] R. Silva, “CORRELAÇÃO ESTRUTURA / PROPRIEDADE DE POLIETILENO LINEAR DE BAIXA DENSIDADE : INFLUÊNCIA NA TEMPERATURA DE SELAGEM,” 2010.

[26] C. I. Martins, “POLÍMEROS IV,” pp. 1–46.




ANEXO I – FICHAS TÉCNICAS

Anexo 1.1. ISPLEN® PP 064 S1F

Isplen® Polipropileno

Química

Nota técnica



ISPLEN® PP064S1F

El grado ISPLEN® PP064S1F es un homopolímero especialmente diseñado para extrusión de "cast-film". Su estructura molecular determina unas propiedades reológicas en fundido que facilitan la transformación del filme. Incorpora aditivos antibloqueo, deslizante y antiestático que facilitan la extrusión de filme en equipos de alta velocidad. En coextrusión aporta al filme elevada rigidez. Está especialmente indicado para la extrusión de filme no orientado y proporciona excelentes propiedades ópticas, mecánicas y barrera.

APLICACIONES

- Extrusión de filmes monocapa.
- Capa interna en filmes coextruidos con polímeros de baja temperatura de sellado y capas externas en filmes barrera.
- Embalaje alimentario / no alimentario.
- Embalaje de confección.

Se recomienda trabajar con temperaturas de fundido entre 190-230°C. Las condiciones óptimas de transformación se deben ajustar para cada línea de producción.

PROPIEDADES	VALOR	UNIDAD	MÉTODO
Generales			
Índice de fluidez (230°C/2,16g)	9	g/10 min	ISO 1133
Densidad a 23°C	905	kg/m³	ISO 1183
Mecánicas			
Módulo elástico en flexión	1.500	MPa	ISO 178
Resistencia al impacto Charpy (23°C, con entalla)	4	kJ/m²	ISO 179
Térmicas			
Punto de Fusión	165	°C	ISO 11357-3
Temperatura de reblandecimiento Vicat A120 (10N)	152	°C	ISO 306
HDT 0,45 MPa	90	°C	ISO 75

El grado ISPLEN® PP064S1F cumple la normativa europea de materiales para uso en contacto con alimentos. Para información más detallada, contacten con el Laboratorio de Asistencia Técnica y Desarrollo o con el Servicio de Atención Comercial.

ALMACENAMIENTO

El grado ISPLEN® PP064S1F debe almacenarse en ambiente seco, zona pavimentada, bien drenada y no encharcable, temperatura inferior a 60°C y protegido de la radiación UV. El almacenamiento en condiciones no adecuadas puede iniciar procesos de degradación que influyen negativamente en la procesabilidad y en las propiedades del producto transformado.

Noviembre 2013

Esta información se da solamente a título orientativo. En todo caso el transformador será responsable de las condiciones de transformación, del uso final del producto y deberá tener en cuenta la posible existencia de patentes y derechos de la propiedad industrial.

Asistencia Técnica y Desarrollo
 Centro de Tecnología Plástico
 C/da de Extrusión 35, Ave 28
 28053 Madrid
 Tel: +34 91 753 86 00
atd_ppl@repsol.com

Servicio Comercial
 Plásticos Químicos, S.A.
 28053 Madrid
 España
comercial@repsol.com

Atención Comercial
atcom@repsol.com



Anexo 1.2 – ISPLEN® PP 264 S1F

Isplen® Polipropileno

Química

Nota técnica



ISPLEN® PR264S1F

DESCRIPCIÓN

El grado ISPLEN® PR264S1F es un copolímero random especialmente diseñado para extrusión de "cast-film" de elevada transparencia. Su estructura molecular determina unas propiedades reológicas en fundido que facilitan la transformación del filme.

Incorpora aditivos antibloqueo, deslizante y antiestático de rápida migración que facilitan la extrusión de filme. En coextrusión o laminación aporta al filme buenas propiedades de soldadura.

Puede también emplearse en aplicaciones de moldeo por inyección donde se requieran altas propiedades mecánicas.

APLICACIONES TÍPICAS

- Film no orientado, "cast-film" monocapa o coextrusión multicapa (alimentos, textil, flores, papelería....)

Se recomienda trabajar con temperaturas de fundido entre 190-230°C. Las condiciones óptimas de transformación se deben ajustar para cada línea de producción.

PROPIEDADES	VALOR	UNIDAD	MÉTODO
General			
Índice de fluidez (230°C, 2.10kg)	9	g/10 min	ISO 1133
Densidad a 23°C	905	kg/m ³	ISO 1183
Mecánicas			
Módulo elástico en flexión	950	MPa	ISO 178
Resistencia al impacto Charpy (23°C, con entalla)	8	kJ/m ²	ISO 179
Térmicas			
Punto de fusión	145	°C	ISO 11357-3
HDT 0.45 MPa	80	°C	ISO 75

El grado ISPLEN® PR264S1F cumple la normativa europea de materiales para uso en contacto con alimentos. Para información más detallada, contacten con el Laboratorio de Asistencia Técnica y Desarrollo o con el Servicio de Atención Comercial.

ALMACENAMIENTO

El grado ISPLEN® PR264S1F debe almacenarse en ambiente seco, zona pavimentada, bien drenada y no encharcable, temperatura inferior a 60°C y protegido de la radiación UV. El almacenamiento en condiciones no adecuadas puede iniciar procesos de degradación que influyen negativamente en la procesabilidad y en las propiedades del producto transformado.

Noviembre 2013

Esta información es de carácter meramente orientativo. En cualquier caso el transformador será responsable de las condiciones de transformación, del uso final del producto y deberá tener en cuenta la posible existencia de patentes y derechos de la propiedad industrial.

Asistencia Técnica y Desarrollo
Centro de Tecnología Repsol
C/da de Entremuros, 65, Km 18
28050 Madrid
Tel: +34 91 751 66 00
atd_gpl@repsol.com

Sede Central
Pabellón Químico, 100
28050 Madrid
España
repsolquimica.repsol.com

Atención Comercial
sac@repsol.com



Anexo 1.3 – ISPLEN® PP 264 M1F

Isplen® Polipropileno

Química

Nota técnica



Anexo

1-

ISPLEN® PR264M1F

DESCRIPCIÓN

El grado ISPLEN® PR264M1F es un copolímero random especialmente diseñado para extrusión de "cast-film" de elevada transparencia. Su estructura molecular determina unas propiedades reológicas en fundido que facilitan la transformación del filme.

Incorpora aditivos antibloqueo y deslizantes de rápida migración que facilitan la extrusión de filme. No incluye agentes antiestáticos en su formulación.

En coextrusión o laminación aporta al filme buenas propiedades de sellado por calor.

Puede emplearse en aplicaciones de moldeo por inyección donde se requieran buenas propiedades mecánicas.

APLICACIONES

- Film no orientado, "cast-film" monocapa o coextrusión multicapa (alimentos, textil, flores, papelería...)

Se recomienda trabajar con temperaturas de fundido entre 190-230°C. Las condiciones óptimas de transformación se deben ajustar para cada línea de producción.

PROPIEDADES	VALOR	UNIDAD	MÉTODO
General			
Índice de fluidez (230°C, 2.10g)	9	g/10 min	ISO 1133
Densidad a 23°C	905	kg/m ³	ISO 1183
Mecánicas			
Módulo elástico en flexión	950	MPa	ISO 178
Resistencia al impacto Charpy (23°C, con entalla)	8	kJ/m ²	ISO 179
Térmicas			
Punto de fusión	145	°C	ISO 11357-3
HDT 0,45 MPa	80	°C	ISO 75

El grado ISPLEN® PR264M1F cumple la normativa europea de materiales para uso en contacto con alimentos. Para información más detallada, contacten con el Laboratorio de Asistencia Técnica y Desarrollo o con el Servicio de Atención Comercial.

ALMACENAMIENTO

El grado ISPLEN® PR264M1F debe almacenarse en ambiente seco, zona pavimentada, bien drenada y no encharcable, temperatura inferior a 60°C y protegido de la radiación UV. El almacenamiento en condiciones no adecuadas puede iniciar procesos de degradación que influyen negativamente en la procesabilidad y en las propiedades del producto transformado.

Noviembre 2013

Esta información es de carácter orientativo. No debe usarse el transformador para fines de transformación de los materiales, sino con fines de producción y deberá tenerse en cuenta la posición actualizada de patentes y derechos de la propiedad industrial.

Asistencia Técnica y Desarrollo
Centro de Tecnología Repsol
Cta. de Extrusión 65, Km 18
28013 Madrid
Tel: +34 91 753 61 00
ast_technik@repsol.com

Atención Comercial
Pabellón 6000, 04
28013 Madrid
España
atn@repsol.com

Atención Comercial
ast@repsol.com



ANEXO II - DADOS RELATIVOS AO PROCESSAMENTO

	Monocamada		Coextrusão	
	PPH	PPC	PPH	PPC
Espessuras (μm)	Velocidade Linear de Puxo (m/min)	Velocidade Linear de Puxo (m/min)	Velocidade Linear de Puxo (m/min)	Velocidade Linear de Puxo (m/min)
25	125	88	90,6	113,1
30	97	–	80	105
35	81,1	69	77,2	95,9
40	74,9	70,8	63,6	–
45	59,8	–	56,7	66
50	58,8	59	46,9	–
55	–	48	–	–
60	–	47,6	–	58,1
65	–	67,8	–	54,8
70	–	42,2	–	43
75	–	38,8	–	39
80	–	34+	–	43,8



Espessuras (μm)	Monocamada		Coextrusão	
	PPH	PPC	PPH	PPC
	Chill Roll (°C)	Chill Roll (°C)	Chill Roll (°C)	Chill Roll (°C)
25	32	36	30	32
30	30	–	29	30
35	28	26	28	24
40	26	30	25	–
45	24	–	22	22
50	21	25	18	–
55	–	21	–	–
60	–	21	–	17
65	–	18	–	17
70	–	18	–	18
75	–	18	–	18
80	–	17	–	17



	Monocamada		Coextrusão	
	PPH	PPC	PPH	PPC
Espessuras (μm)	Débito (Kg/h)	Débito (Kg/h)	Débito (Kg/h)	Débito (Kg/h)
25	216,3	182,7	352,25	418,36
30	183,5	–	338,74	406,69
35	178,7	192,5	360,21	532,88
40	210,2	190,7	384,65	–
45	213,6	–	414,15	583,2
50	192,3	210,6	478,95	–
55	–	216,9	–	–
60	–	221,7	–	564,73
65	–	220,4	–	606,78
70	–	232,6	–	605,24
75	–	247,9	–	615,09
80	–	260,1	–	639,27

**ANEXO III– DADOS RELATIVOS AO ESTIRAMENTO NA GRAMAGEM**

	Monocamada		Coextrusão	
Zonas	PPH	PPC	PPH	PPC
1	0.15	0.25	0.1	0.25
2	0.35	0.5	0.35	0.5
5	0.55	0.75	0.6	0.75
4	0.75	1.0	0.85	1.0
5	0.95	1.25	1.1	1.25
6	1.15	1.5	0.35	1.5
7	1.35	1.75	1.6	1.75
8	–	2.0	–	2.0
9	–	2.25	–	2.25

Gramagem - Homopolímero				
	Monocamada		Coextrusão	
Zonas	35 µm	30 µm	45 µm	30 µm
1	30.91 ± 0.36	27.05 ± 0.28	41.38 ± 0.81	26.58 ± 0.87
2	31.49 ± 0.22	27.17 ± 0.24	42.39 ± 0.34	27.09 ± 0.21
2	31.47 ± 0.13	27.38 ± 0.18	42.80 ± 0.31	27.44 ± 0.36
3	32.18 ± 0.17	28.08 ± 0.36	42.30 ± 0.98	27.31 ± 0.19
4	31.24 ± 0.38	27.95 ± 0.46	42.97 ± 0.83	27.60 ± 0.37
5	31.49 ± 0.36	27.7 ± 0.8	42.04 ± 0.47	27.36 ± 0.16
6	30.52 ± 0.65	27.07 ± 0.43	41.92 ± 0.59	27.28 ± 0.3
7	–	–	41.38 ± 0.3	26.99 ± 0.45
8	–	–	40.475 ± 0.27	26.715 ± 0.25
9	–	–	–	–



Gramagem - Copolímero				
	Monocamada		Coextrusão	
Zonas	75 μm	70 μm	40 μm	30 μm
1	67.11 \pm 0.5	61.94 \pm 0.59	36.67 \pm 0.28	26.585 \pm 0.72
2	67.115 \pm 0.16	62.16 \pm 0.7	36.89 \pm 0.43	27.09 \pm 0.36
5	67.39 \pm 0.3	62.21 \pm 0.34	37.78 \pm 0.42	27.44 \pm 0.25
4	68.04 \pm 0.58	62.63 \pm 0.41	37.54 \pm 0.6	27.315 \pm 0.2
5	67.36 \pm 0.71	62.365 \pm 0.29	38.17 \pm 1.06	27.60 \pm 0.4
6	67.47 \pm 0.52	62.09 \pm 0.68	37.15 \pm 1.33	27.36 \pm 0.2
7	66.87 \pm 0.62	61.95 \pm 0.59	37.08 \pm 0.16	27.28 \pm 0.4
8	–	–	36.67 \pm 0.68	26.99 \pm 0.21
9	–	–	36.4 \pm 0.22	26.71 \pm 0.24



ANEXO IV – DADOS RELATIVOS DO ESTIRAMENTO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Propriedades Mecânicas (Tensão Máxima) - Homopolímero				
	Monocamada		Coextrusão	
Zonas	35 μm	30 μm	45 μm	35 μm
1	17.43 ± 1.39	20.45 ± 0.68	16.55 ± 0.99	18.92 ± 0.75
2	17.95 ± 0.81	20.75 ± 1.28	17.01 ± 1.16	18.15 ± 0.52
5	18.09 ± 1.19	21.78 ± 1.25	17.71 ± 0.93	18.28 ± 1.03
4	19.37 ± 0.9	22.18 ± 1.00	18.07 ± 1.38	20.09 ± 1.43
5	18.29 ± 0.99	20.95 ± 0.65	18.48 ± 0.92	23.15 ± 1.25
6	17.54 ± 0.86	20.71 ± 1.06	17.75 ± 0.68	21.85 ± 1.42
7	17.36 ± 0.81	20.06 ± 1.21	17.22 ± 1.39	18.85 ± 1.43
8	–	–	16.4 ± 1.21	18.67 ± 1.17
9	–	–	16.72 ± 0.93	18.65 ± 1.15

Propriedades Mecânicas (Tensão Máxima) - Copolímero				
	Monocamada		Coextrusão	
Zonas	75 μm	70 μm	40 μm	30 μm
1	13.17 ± 0.29	14.81 ± 0.77	18.42 ± 0.66	19.29 ± 0.73
2	13.53 ± 1.07	14.93 ± 0.59	18.48 ± 1.14	20 ± 1.66
5	14.01 ± 0.83	15.76 ± 0.76	19.37 ± 0.55	20.32 ± 1.06
4	14.26 ± 0.81	16.03 ± 0.51	19.81 ± 0.46	21.21 ± 0.91
5	14.21 ± 1.3	15.65 ± 0.75	21.45 ± 1.03	23.34 ± 0.53
6	13.79 ± 0.68	15.37 ± 0.44	20.9 ± 0.96	21.78 ± 1.06
7	13.1 ± 0.66	14.71 ± 0.6	20.1 ± 0.41	21.37 ± 0.65
8	–	–	20.14 ± 0.87	20.78 ± 0.86
9	–	–	18.56 ± 0.82	19.57 ± 1.07



Propriedades Mecânicas (Alongamento à Ruptura) - Homopolímero				
	Monocamada		Coextrusão	
Zonas	35 μm	30 μm	45 μm	35 μm
1	208.72 \pm 13.55	196.34 \pm 9.62	218.3 \pm 4.65	214.06 \pm 12.29
2	207.62 \pm 3.78	190.12 \pm 15.36	202.64 \pm 4.74	195.9 \pm 10.33
5	201.7 \pm 12.36	182.04 \pm 16.24	197.82 \pm 5.16	194.46 \pm 8.12
4	199.22 \pm 4.81	178.3 \pm 12.33	197.2 \pm 9.42	194.12 \pm 10.3
5	201.88 \pm 13.11	186.3 \pm 11.1	201.02 \pm 9.94	194.5 \pm 9.7
6	208.14 \pm 13.3	190.2 \pm 11.18	195.31 \pm 4.07	197.2 \pm 9.85
7	210.4 \pm 12.35	194.26 \pm 17.45	202.48 \pm 8.46	197.74 \pm 6.79
8	–	–	207.94 \pm 8.14	199.0 \pm 9.75
9	–	–	224.12 \pm 3.49	210.09 \pm 6.16

Propriedades Mecânicas (Alongamento à Ruptura) - Copolímero				
	Monocamada		Coextrusão	
Zonas	75 μm	70 μm	40 μm	30 μm
1	296.18 \pm 24.94	238.99 \pm 12.26	222.94 \pm 18.6	199.68 \pm 13.83
2	290.44 \pm 20.48	223.2 \pm 18.41	209.04 \pm 13.92	191.94 \pm 6.6
5	272.68 \pm 16.27	221.06 \pm 19.99	194.54 \pm 16.27	187.86 \pm 11.67
4	266.94 \pm 15.88	217.09 \pm 21.64	214.64 \pm 7.32	184.1 \pm 19.15
5	275.36 \pm 12.29	220.78 \pm 19.33	202.38 \pm 11.76	190.46 \pm 16.36
6	284.62 \pm 20.16	230.24 \pm 25.16	216.54 \pm 7.07	188.04 \pm 11.84
7	292.64 \pm 23.56	235.92 \pm 15.65	222.20 \pm 8.49	195.14 \pm 3.81
8	–	–	216.4 \pm 9.84	192.48 \pm 12.12
9	–	–	223.08 \pm 9.23	196.40 \pm 18.32



ANEXO V – DADOS RELATIVOS AO COEFICIENTE DE ATRITO

Coeficiente de Atrito - Homopolímero				
	DL		DT	
Espessuras (μm)	Monocamada	Coextrusão	Monocamada	Coextrusão
25	0.13	0.14	0.12	0.13
30	0.14	0.16	0.12	0.15
35	0.16	0.17	0.14	0.16
40	0.18	0.19	0.16	0.17
45	0.2	0.2	0.18	0.19
50	0.2	0.22	0.14	0.2

Coeficiente de Atrito - Copolímero				
	DL		DT	
Espessuras (μm)	Monocamada	Coextrusão	Monocamada	Coextrusão
25	0.11	0.15	0.1	0.14
30	–	0.17	–	0.16
35	0.12	0.18	0.11	0.17
40	0.14	–	0.13	–
45	–	0.2	–	0.17
50	0.16	–	0.16	–
55	0.18	–	0.17	–
60	0.18	0.22	0.18	0.2
65	0.21	0.23	0.19	0.21
70	0.2	0.24	0.2	0.22
75	0.23	0.25	0.21	0.23
80	0.23	0.27	0.21	0.25



ANEXO VI – DADOS RELATIVOS ÀS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Propriedades Mecânicas (Tensão de Ruptura) - Homopolímero				
	DL		DT	
Espessuras (μm)	Monocamada	Coextrusão	Monocamada	Coextrusão
25	14.51 ± 1.1	21.86 ± 3.16	5.36 ± 0.91	7.85 ± 1.38
30	12.79 ± 2.45	15.53 ± 1.7	5.00 ± 0.9	5.64 ± 1.21
35	11.48 ± 1.32	13.55 ± 1.12	5.10 ± 0.36	6.21 ± 0.57
40	9.72 ± 1.63	12.70 ± 0.38	4.68 ± 0.74	4.65 ± 0.24
45	10.12 ± 1.13	12.22 ± 0.64	3.76 ± 1.09	4.52 ± 0.81
50	6.94 ± 1.67	11.06 ± 0.53	3.64 ± 0.58	4.4 ± 0.64

Propriedades Mecânicas (Tensão de Ruptura) - Copolímero				
	DL		DT	
Espessuras (μm)	Monocamada	Coextrusão	Monocamada	Coextrusão
25	13.38 ± 1.99	15.18 ± 0.89	7.69 ± 0.57	8.41 ± 0.47
30	–	14.76 ± 0.70	–	8.39 ± 0.49
35	11.02 ± 0.81	12.82 ± 1.08	7.40 ± 0.81	7.95 ± 0.69
40	10.89 ± 1.73	–	6.95 ± 0.87	–
45	–	11.21 ± 0.77	–	8.11 ± 0.14
50	7.21 ± 1.35	–	5.375 ± 1.27	–
55	9.31 ± 1.09	–	5.81 ± 0.76	–
60	8.99 ± 0.76	11.00 ± 0.74	6.27 ± 0.38	7.36 ± 0.74
65	7.79 ± 1.35	9.28 ± 1.09	7.19 ± 0.76	7.64 ± 0.77
70	7.12 ± 1.31	7.48 ± 0.78	6.71 ± 0.33	7.34 ± 0.7
75	7.87 ± 0.97	7.65 ± 0.82	6.26 ± 0.3	7.06 ± 0.32
80	8.74 ± 1.28	7.72 ± 1.09	6.22 ± 0.4	7.77 ± 0.49



Propriedades Mecânicas (Tensão Máxima) -Homopolímero				
	DL		DT	
Espessuras (μm)	Monocamada	Tricamada	Monocamada	Tricamada
25	22.06 ± 0.5	25.07 ± 0.98	21.75 ± 1.2	23.72 ± 0.71
30	21.06 ± 0.42	23.58 ± 1.06	20.06 ± 0.28	21.53 ± 0.81
35	21.44 ± 1.02	22.5 ± 0.33	20.79 ± 0.79	20.81 ± 0.28
40	20.14 ± 1.02	20.94 ± 0.64	20.01 ± 0.47	20.28 ± 0.8
45	20.84 ± 0.74	21.96 ± 1.12	18.61 ± 0.51	20.11 ± 0.79
50	16.75 ± 0.6	21.49 ± 0.7	16.91 ± 0.54	18.78 ± 0.45

Propriedades Mecânicas (Tensão Máxima) - Copolímero				
	DL		DT	
Espessuras (μm)	Monocamada	Coextrusão	Monocamada	Coextrusão
25	21.06 ± 1.81	27.52 ± 0.84	16.29 ± 0.78	18.16 ± 0.21
30	–	21.15 ± 0.85	–	17.9 ± 0.54
35	17.67 ± 0.68	19.96 ± 1.2	16.05 ± 0.2	17.28 ± 0.38
40	16.88 ± 1.32	–	16.01 ± 0.5	–
45	–	19.43 ± 1.05	–	17.88 ± 0.86
50	16.02 ± 0.77	–	14.81 ± 0.46	–
55	16.81 ± 2.09	–	15.06 ± 0.56	–
60	16.58 ± 1.4	18.39 ± 1.86	14.31 ± 0.65	16.73 ± 0.82
65	16.44 ± 0.8	17.74 ± 2.86	15.76 ± 0.70	17.52 ± 0.40
70	16.16 ± 0.87	17.33 ± 0.70	14.3 ± 1.32	16.42 ± 0.65
75	16.54 ± 3.93	15.28 ± 1.23	14.45 ± 1.26	15.06 ± 1.31
80	14.94 ± 2.4	15.17 ± 0.53	14.01 ± 1.32	14.71 ± 1.5



Propriedades Mecânicas (Alongamento à Ruptura) -Homopolímero				
	DL		DT	
Espessuras (μm)	Monocamada	Coextrusão	Monocamada	Coextrusão
25	133.14 ± 7.49	128.26 ± 19.53	36.36 ± 6.62	29.34 ± 7.31
30	142.46 ± 9.64	138.4 ± 27.03	27.66 ± 7.14	27.7 ± 7.12
35	164.5 ± 36.46	151.58 ± 5.02	25.42 ± 8.02	33.54 ± 5.15
40	169.54 ± 10.29	160.82 ± 18.42	49.26 ± 19.66	29.02 ± 5.68
45	181.76 ± 35.4	173.16 ± 11.25	28.42 ± 9.97	40.62 ± 17.43
50	190.88 ± 16.91	180.46 ± 12.2	40.58 ± 10.39	33.82 ± 6.12

Propriedades Mecânicas (Alongamento à Ruptura) - Copolímero				
	DL		DT	
Espessuras (μm)	Monocamada	Coextrusão	Monocamada	Coextrusão
25	156.34 ± 26.9	118.28 ± 15.42	48.6 ± 5.84	32.36 ± 6.87
30	–	116.88 ± 7.21	–	59.44 ± 25.2
35	163.94 ± 12.59	153.92 ± 22.76	77.6 ± 7.5	92.58 ± 14.63
40	202.1 ± 13.2	–	106.54 ± 12.63	–
45	–	166.24 ± 15.48	–	114.04 ± 14.82
50	194.28 ± 21.66	–	119.52 ± 11.71	–
55	206.28 ± 15.79	–	149.88 ± 15.19	–
60	208.72 ± 13.77	157.32 ± 23.83	182.02 ± 7.11	132.26 ± 14.88
65	189.22 ± 17.03	147.08 ± 19.93	192.5 ± 26.3	143.18 ± 11.83
70	228.35 ± 16.01	189.1 ± 18.65	187.08 ± 23.08	152.78 ± 11.63
75	254.04 ± 27.8	213.24 ± 34.86	219.52 ± 24.9	139.32 ± 24.92
80	248 ± 45.7	220.32 ± 22.82	222.56 ± 36.91	152.98 ± 15.9



Anexo VII – Dados relativos á Retração

Retração - Homopolímero				
	DL		DT	
Espessuras (μm)	Monocamada	Coextrusão	Monocamada	Coextrusão
25	2.93 ± 0.37	3.07 ± 0.37	1.33 ± 0.32	1.77 ± 0.82
30	2.13 ± 0.3	2.26 ± 0.37	1.2 ± 0.3	1.43 ± 0.3
35	1.87 ± 0.3	2 ± 0.37	0.93 ± 0.37	1.2 ± 0.3
40	1.73 ± 0.3	1.6 ± 0.37	1.07 ± 0.37	1.33 ± 0.47
45	1.73 ± 0.36	1.73 ± 0.36	0.8 ± 0.3	1.07 ± 0.36
50	1.47 ± 0.3	1.47 ± 0.3	0.8 ± 0.3	0.93 ± 0.36

Retração - Copolímero				
	DL		DT	
Espessuras (μm)	Monocamada	Coextrusão	Monocamada	Coextrusão
25	2.13 ± 0.3	2.4 ± 0.6	2 ± 0.47	1.86 ± 0.3
30	–	2.33 ± 0.36	–	1.73 ± 0.36
35	2 ± 0.47	1.87 ± 0.56	1.2 ± 0.36	1.6 ± 0.36
40	2 ± 0.47	–	1.6 ± 0.36	–
45	–	2.26 ± 0.33	–	1.6 ± 0.36
50	1.6 ± 0.36	–	1.2 ± 0.3	–
55	1.6 ± 0.36	–	1.2 ± 0.56	–
60	1.33 ± 0.47	1.47 ± 0.3	1.07 ± 0.6	1.47 ± 0.3
65	1.2 ± 0.47	1.6 ± 0.36	1.2 ± 0.3	1.2 ± 0.3
70	0.93 ± 0.3	1.33 ± 0.42	1.33 ± 0	1.33 ± 0.47
75	1.2 ± 0.47	1.2 ± 0.36	1.07 ± 0.36	1.07 ± 0.36
80	1.07 ± 0.36	1.07 ± 0.36	0.93 ± 0.36	1.07 ± 0.36



Anexo VIII – Dados relativos ao Hot Tack

Hot Tack				
	Homopolímero		Copolímero	
Espessuras (μm)	Monocamada	Coextrusão	Monocamada	Coextrusão
25	[135; 165]	[140; 170]	[125; 150]	[125; 155]
30	[135; 165]	[140; 170]	–	[125; 155]
35	[140; 165]	[140; 170]	[125; 155]	[125; 155]
40	[140; 170]	[140; 170]	[125; 155]	–
45	[145; 175]	[145; 175]	–	[125; 160]
50	[145; 175]	[145; 175]	–	–
55	–	–	[125; 155]	–
60	–	–	[125; 155]	[130; 165]
65	–	–	[130; 155]	[135; 165]
70	–	–	[130; 155]	[135; 165]
75	–	–	[135; 155]	[140; 165]
80	–	–	[135; 160]	[140; 165]

**ANEXO IX – DADOS RELATIVOS À TURBIDEZ**

Turbidez - Copolímero				
	Homopolímero		Copolímero	
Espessuras (μm)	Monocamada	Tricamada	Monocamada	Tricamada
25	12.08 ± 0.05	13.14 ± 0.29	11.88 ± 0.42	13.02 ± 0.11
30	12.3 ± 0.21	13.3 ± 0.08	–	14.08 ± 0.24
35	11.73 ± 0.32	14.25 ± 0.09	12.14 ± 0.05	13.44 ± 0.15
40	11.75 ± 0.01	13.59 ± 0.19	12.19 ± 0.04	–
45	12.4 ± 0.13	14.36 ± 0.25	–	14 ± 0.03
50	12.65 ± 0.05	13.76 ± 0.39	12.34 ± 0.38	–
55	–	–	12.37 ± 0.33	–
60	–	–	12.7 ± 0.05	14.4 ± 0.21
65	–	–	12.99 ± 0.23	14.36 ± 0.17
70	–	–	12.75 ± 0.14	14.35 ± 0.2
75	–	–	12.99 ± 0.23	14.66 ± 0.17
80	–	–	13.73 ± 0.09	15.01 ± 0.09

**ANEXO X- DADOS RELATIVOS À RESISTÊNCIA À SOLDADURA**

Resistência à Soldadura - Homopolímero				
	DL		DT	
Espessuras (μm)	Monocamada	Coextrusão	Monocamada	Coextrusão
25	465.45 ± 75.36	463.9 ± 43.44	280.4 ± 113.28	403.26 ± 37.7
30	668.87 ± 107.69	756 ± 106.36	612.47 ± 57.18	681.25 ± 35.67
35	733.21 ± 70.74	760.25 ± 36.15	682.02 ± 66.43	689.875 ± 37.39
40	806.625 ± 55.69	877 ± 15.75	629.37 ± 103.57	885 ± 34.01
45	924.625 ± 27.34	959.25 ± 31.81	912.75 ± 45.26	789.87 ± 109.23
50	950.25 ± 72.77	978 ± 60.57	960.5 ± 77.6	923.25 ± 73.74

Resistência à Soldadura - Copolímero				
	DL		DT	
Espessuras (μm)	Monocamada	Coextrusão	Monocamada	Coextrusão
25	449.51 ± 35.77	341.51 ± 20.46	326.4 ± 44.65	398.71 ± 74.72
30	–	526.94 ± 32.31	–	396.17 ± 60.44
35	596.3 ± 111.39	692.75 ± 43.24	509.27 ± 55.58	527.85 ± 50.57
40	613.75 ± 80.65	–	574 ± 62.96	–
45	–	804.5 ± 14.59	–	800 ± 36.84
50	900 ± 56.17	–	795.75 ± 77.52	–
55	811.62 ± 70.35	–	784.2 ± 130.88	–
60	924.39 ± 90.97	1047.8 ± 38.74	811.62 ± 56.17	934.25 ± 90.97
65	1014.75 ± 120.6	1157.37 ± 66.34	839.87 ± 109.84	1092.75 ± 120.5
70	1026.62 ± 66.85	1242.12 ± 68.17	967 ± 83.36	1009.12 ± 66.85
75	1041.75 ± 91.82	1308.3 ± 104.57	961.87 ± 73.8	1241 ± 91.82
80	1209.5 ± 94.15	1323.37 ± 129.3	979.75 ± 84.17	1243.25 ± 94.15

